



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**



**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO E OS DESASTRES NATURAIS  
DA CIDADE DE JOÃO PESSOA-PB, PARA O RECORTE TEMPORAL  
DE 1991 Á 2020.**

**SHAYENNY ALVES DE MEDEIROS**

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA  
AGOSTO - 2021**

**SHAYENNY ALVES DE MEDEIROS**

**VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO E OS DESASTRES NATURAIS  
DA CIDADE DE JOÃO PESSOA-PB, PARA O RECORTE TEMPORAL  
DE 1991 Á 2020.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:**

Engenharia de Irrigação e Drenagem

**ORIENTADOR:**

Prof. Dr. João Miguel de Moraes Neto

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA**

**AGOSTO – 2021**

M488v Medeiros, Shayenny Alves de.  
Variabilidade da precipitação e os desastres naturais da cidade de João Pessoa-PB, para o recorte temporal de 1991 a 2020 / Shayenny Alves de Medeiros. – Campina Grande, 2021.  
118 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.  
“Orientação: Prof. Dr. João Miguel de Moraes Neto”.

Referências.

1. Climatologia. 2. Sistemas Meteorológicos. 3. Eventos Extremos. 4. Vulnerabilidade. I. Moraes Neto, João Miguel de. II. Título.

CDU 551.58(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA  
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

### FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

**SHAYENNY ALVES DE MEDEIROS**

VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO E OS  
DESASTRES NATURAIS DA CIDADE DE JOÃO  
PESSOA-PB, PARA O RECORTE TEMPORAL DE  
1991 A 2020

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
como pré-requisito para obtenção do título  
de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 31/08/2021

João Miguel de Moraes Neto – Orientador – UAEA/CTRN/UFCG

Juarez Paz Pedroza – Examinador Interno - UAEA/CTRN/UFCG

Aldinete Bezerra Barreto - Examinadora Externa - UATEC/CDSA/UFCG



Documento assinado eletronicamente por **JOAO MIGUEL DE MORAES NETO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/09/2021, às 20:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JUAREZ PAZ PEDROZA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/09/2021, às 20:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ALDINETE BEZERRA BARRETO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/10/2021, às 10:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **1744584** e o código CRC **198C641D**.

*Dedico este trabalho a Deus, Autor de maravilhas em minha vida, cuja presença me auxilia nas minhas escolhas, abrindo caminhos e me segurando pela mão, me dando confiança frente aos desafios e adversidades, por meio da sua Graça e infinita bondade realizo os meus sonhos. Sem Deus, nada disso seria alcançado!*

## AGRADECIMENTOS

“Jesus tu és o meu alívio. A força e o ânimo que eu necessito pra prosseguir. Se eu não desisti, o motivo é porque sempre estive aqui. Nos piores momentos dizendo que nunca desiste de mim. Tudo o que eu preciso bem aqui comigo pra eu continuar. Que me impulsiona todos os dias pra eu não parar. Tu és o motivo, Jesus, que eu tenho pra avançar...”.

Gratidão a Deus, porque dEle e por Ele, e para Ele, são todas as coisas; a Ele seja a glória para sempre! Amém. Concluindo mais uma etapa em minha vida graças a sua bondade e amor, os quais me permitiam superar dias difíceis e acreditar que tudo isso seria possível.

A minha família, em especial a minha mãe Sílvia, que é meu alicerce, a pessoa que sempre confiou nos meus sonhos e nunca me permitiu desistir! E aos meus sobrinhos amados, presentes de Deus para alegrar nossas vidas em um momento tão difícil que está sendo essa Pandemia. A Elivelton, que sempre esteve ao meu lado, nos maus e bons momentos da pós-graduação, obrigada por nunca medir esforços para me ajudar. Obrigada! Em especial, sou muito grata a todos aqueles amigos de curso aos quais convivi, ganhando conhecimentos, experiências, tornando mais leve esses anos de estudo. Dentre eles, estão em especial: Renata Richelle, Julio Cesar, Luana Cristina, Raul Nóbrega e Jaricélia Patrícia. Obrigada pelas parcerias, apoios e risadas, sempre estarão presentes em meu coração!

Ao meu orientador, Professor João Miguel, pelo companheirismo ao longo desses anos, confiando no meu potencial e me fazendo superar a cada momento.

A minha querida Professora Aldinete Barreto, obrigada pelos longos anos de amizade, me apoiando e me auxiliando sempre que precisei, agradeço por cada ensinamento, por confiar no meu melhor e extrair isso de mim. Minhas conquistas sempre serão nossas, em toda a minha vida acadêmica, gratidão por tudo.

Ao INMET e a AESA pela contribuição e disponibilização de dados indispensáveis à realização desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo durante o mestrado.

Agradeço também a Coordenação da Unidade Acadêmica de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, a todos os meus Professores, Técnicos e Auxiliares que estiveram presente em minha formação acadêmica, contribuindo para minha qualificação profissional.

A banca examinadora pela contribuição para o aperfeiçoamento na versão final desse trabalho.

*“Se vi mais longe, foi apenas por ter estado sobre os ombros de gigantes”.*

*Newton*

# **VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO E OS DESASTRES NATURAIS DA CIDADE DE JOÃO PESSOA-PB, PARA O RECORTE TEMPORAL DE 1991 Á 2020.**

**RESUMO:** Ao saber da importância de uma análise mais detalhada acerca das chuvas e tendo em vista sua contribuição ao planejamento e mitigação de muitas atividades e impactos ocasionados por chuvas intensas ou extremas, o objetivo deste estudo angariou-se em analisar a variabilidade da precipitação em escalas anuais, mensais, diárias e horárias de João Pessoa-PB, para caracterizar o regime de chuvas, realizando a classificação pluviométrica de acordo com a Técnica dos Percentis, empregando o Índice de Anomalia de Chuva (IAC), no intuito de identificar melhor a intensidade dos períodos secos e úmidos para série histórica da precipitação, analisar a dinâmica do ciclo diário da precipitação com ênfase na classificação dos eventos de chuva e investigar os sistemas atmosféricos que influenciaram além dos riscos de desastres relacionados a essas chuvas. O período de estudo compreende de 1991 a 2020. A Técnica dos Percentis permitiu a determinação das classes pluviométricas da precipitação anual, que caracterizou os totais anuais em cinco classes: Muito Seco (MS), Seco (S), Normal (N), Chuvoso (CH) e Muito Chuvoso (MC). Essa classificação foi analisada 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. A mesma técnica foi aplicada nos dados diários, possibilitando a identificação dos eventos extremos de chuva com valor diário igual ou superior a 54 mm. Com o percentil 97 foram identificados 177 eventos extremos de precipitação, utilizou-se das Cartas Sinóticas da Superfície disponibilizadas pelo CPTEC-INPE com a finalidade de identificar os sistemas atmosféricos que geraram os episódios pluviométricos extremos. O IAC possibilitou a identificação de anomalias positivas e negativas nos meses de estudo, resultando 151 meses (+) e 209 meses (-), tendo a maioria dos meses precipitações menores que a média mensal da série em estudo. No ciclo horário da precipitação, o período entre o final da noite e início da manhã apresenta sua frequência máxima na cidade de João Pessoa. Logo, ressalta-se a importância de entender o comportamento da precipitação, para auxiliar na geração de subsídios aos planejadores e tomadores de decisão, no que tange a compreensão dos eventos pluviométricos extremos e suas consequências que afetam a sociedade e assim, contribuir para uma melhor organização do ambiente urbano de João Pessoa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas Meteorológicos, Vulnerabilidade, Eventos Extremos.

# **VARIABILITY OF PRECIPITATION AND NATURAL DISASTERS IN THE CITY OF JOÃO PESSOA-PB, FOR THE TIME CUTTING FROM 1991 TO 2020.**

**ABSTRACT:** Aware of the importance of a more detailed analysis of rainfall and in view of its contribution to the planning and mitigation of many activities and impacts caused by intense or extreme rainfall, the objective of this study was to analyze the variability of precipitation on annual, monthly, daily and hourly scales of João Pessoa-PB to characterize the rainfall regime, performing the rainfall classification according to the Percentile Technique, employing the Rainfall Anomaly Index (RAI), in order to better identify the intensity of dry and wet periods for the historical series of precipitation, analyze the dynamics of the daily cycle of precipitation with emphasis on the classification of rainfall events and investigate the atmospheric systems that influenced and the risks of disasters related to these rains. The study period is from 1991 to 2020. The Percentile Technique allowed the determination of the rainfall classes of the annual rainfall, which characterized the annual totals in five classes: Very Dry (VD), Dry (D), Normal (N), Rainy (R) and Very Rainy (VR). This classification was analyzed together with periods in which La Niña (LN) and El Niño (EN) occurred and the results did not show the influence of these phenomena on the variability of rainfall in João Pessoa. The same technique was applied to daily data enabling the identification of extreme rainfall events with a daily value equal to or greater than 54 mm. With the 97th percentile 177 extreme rainfall events were identified, the Synoptic Surface Charts made available by CPTEC-INPE were used in order to identify the atmospheric systems that generated the extreme rainfall episodes. The RAI allowed the identification of positive and negative anomalies in the months under study, resulting in 151 months (+) and 209 months (-), with most months under study having precipitation lower than the monthly average of the series under study. In the hourly cycle of precipitation, the period between late evening and early morning presents its maximum frequency, the city of João Pessoa. Therefore, we emphasize the importance of understanding the behavior of precipitation, to help in the generation of subsidies to planners and decision makers, regarding the understanding of extreme rainfall events and their consequences that affect society and thus contribute to a better organization of the urban environment of João Pessoa.

**KEYWORDS:** Weather Systems, Vulnerability, Extreme Events.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas Urbanizadas das Concentrações Urbanas de João Pessoa-PB.....	35
Figura 2- Mapa da Cidade de João Pessoa identificando as áreas de risco existentes. ....	37
Figura 3 - Localização do município de João Pessoa- PB.....	45
Figura 4 - Mapa dos Remanescentes da Mata Atlântica e Áreas Degradadas .....	47
Figura 5 - Mapa Pedológico da área de estudo e adjacências. ....	48
Figura 6 - Regiões Bioclimáticas segundo a classificação de Köppen.....	50
Figura 7 - Distribuição da Precipitação mensal acumulada para Pré-estação Chuvosa. ....	51
Figura 8 - Distribuição da Precipitação mensal acumulada para Quadra Chuvosa.....	52
Figura 9 - Distribuição da Precipitação mensal acumulada para do Período Seco. ....	53
Figura 10- Distribuição anual da precipitação em João Pessoa – PB (1991 a 2020). ....	67
Figura 11- Distribuição do total anual da precipitação e a sua Classificação obtida pelo método dos percentis, no período 1991-2020 da Estação Climatológica do INMET em João Pessoa/PB: Precipitação, Percentil0,15, Percentil0,35, Percentil0,65 e Percentil0,85 .....	69
Figura 12- Distribuição mensal da normal climatológica da precipitação (1981-2010) e da precipitação média e desvio padrão (DP) do período 1991-2020 para João Pessoa. ....	70
Figura 13 - IAC anual do mês de Janeiro do Município de João Pessoa-PB. ....	72
Figura 14- IAC anual do mês de Fevereiro do Município de João Pessoa-PB .....	72
Figura 15 - IAC anual do mês de Março do Município de João Pessoa- PB. ....	73
Figura 16 - IAC anual do mês de Abril do Município de João Pessoa-PB. ....	73
Figura 17- IAC anual do mês de Maio do Município de João Pessoa-PB. ....	74
Figura 18- IAC anual do mês de Junho do Município de João Pessoa-PB. ....	74
Figura 19- IAC anual do mês de Julho do Município de João Pessoa-PB. ....	75
Figura 20 - IAC anual do mês de Agosto do Município de João Pessoa-PB. ....	75
Figura 21 - IAC anual do mês de Setembro do Município de João Pessoa-PB. ....	76
Figura 22- IAC anual do mês de Outubro do Município de João Pessoa-PB. ....	76
Figura 23- IAC anual do mês de Novembro do Município de João Pessoa-PB.....	77
Figura 24 - IAC anual do mês de Dezembro do Município de João Pessoa-PB. ....	77
Figura 25 - Total de dias com chuva nos anos em estudo da cidade de João Pessoa-PB .....	80
Figura 26 - Total de dias com chuva nos meses em estudo da cidade de João Pessoa-PB .....	81

Figura 27- Frequência mensal do número de eventos extremos de chuva no período em estudo (1991-2020) no quadrimestre chuvoso (Abr-Jul) e nos meses de Janeiro a março e de agosto setembro (Jan-Mar/Ago-Dez), na cidade de João Pessoa-PB. ....	82
Figura 28- Precipitação do mês de maio de 1996, evidenciando o episódio do dia 30/05/1996. ....	87
Figura 29 - Precipitação do mês de junho de 2000, evidenciando o episódio do dia 26/06/2000.....	88
Figura 30 - Precipitação do mês de maio de 2011, evidenciando o episódio do dia 20/05/2011. ....	89
Figura 31 - Carta Sinótica de Pressão do dia 20/05/2011.....	90
Figura 32 - Precipitação do mês de junho de 2012, evidenciando os episódios dos dias 07, 20 e 28/06/2012. ....	91
Figura 33 - Carta Sinótica de Pressão do dia 28/06/2012.....	92
Figura 34- Precipitação do mês de setembro de 2013, evidenciando o episódio do dia 04/09/2013.....	93
Figura 35 - Carta Sinótica de Pressão do dia 04/09/2013.....	94
Figura 36 - Precipitação do mês de junho de 2019, evidenciando o episódio do dia 14/06/2019.....	95
Figura 37 - Carta Sinótica de Pressão do dia 14/06/2019.....	96
Figura 38 - Ciclo diurno da precipitação para a EMA de João Pessoa, período 2007 a 2020. ....	97
Figura 39 - Distribuição percentual da intensidade da chuva (mm.h-1) para a EMA de João Pessoa, período 2007 a 2020. ....	98
Figura 40 - Distribuição mensal da intensidade da chuva (mm.h-1) para a EMA de João Pessoa, período 2007 a 2020. ....	99

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comunidades em áreas de risco na cidade de João Pessoa. ....	38
Tabela 2 - Normais climatológicas de João Pessoa (1981-2010). ....	54
Tabela 3 - Ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña para o período de 1991-2020, de intensidades: Forte (F), Moderado (M) e Fraco (FR). (Fonte: Adaptado do CPTEC). ....	60
Tabela 4 - Classe de intensidade do índice de anomalia de chuva. Índice de Anomalia de Chuva (IAC). ....	62
Tabela 5 - Quantidade máxima de registros horários por quantidade de dias em cada mês do ano. ....	64
Tabela 6 - Distribuição do Período de ocorrências. ....	66
Tabela 7 - Critério de classificação da intensidade das chuvas horárias (mm.h <sup>-1</sup> ). ....	66
Tabela 8 - Limites dos Intervalos das Classes Anuais da Precipitação de João Pessoa-PB do período de 1991-2020 e a Frequência Percentual dos anos em cada classe. Registros dos anos com ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña (Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE); ....	68
Tabela 9- Frequência mensal dos eventos extremos de precipitação, igual ou superior a 54 mm, por intervalos de classe de 20 mm. ....	82
Tabela 10 – Total pluviométrico anual e número de eventos iguais ou superiores a 54 mm em 24 horas, registrados em João Pessoa - PB (1991 a 2020). ....	84
Tabela 11 - Ocorrência de desastres sujeitas a riscos para a população no período de 2005 a 2017 na cidade de João Pessoa-PB. ....	85
Tabela 12 - Frequência das chuvas a partir de 0,2 mm/hora por turnos do dia e o total precipitado em cada horário. ....	97
Tabela 13 - Valores das 15 maiores precipitações horárias para a EMA analisada, 2007-2020. ....	99

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Intervalos de classe para categorização da precipitação. ....	60
Quadro 2 - Início da disponibilidade dos dados para cada estação automática do INMET, localizada no município de João Pessoa- PB, 2007-2020. ....	64
Quadro 3 - Quantidade de dados utilizados, a partir de 0,2 mm/hr. ....	65
Quadro 4 - Total de meses com ocorrência de anomalias negativas e positivas de precipitação por classificação de intensidade dos valores do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) do Município de João Pessoa para o período de 1991 a 2020. ....	79

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AAN - Alta Pressão do Atlântico Norte

AB - Alta da Bolívia

AESA- Agência Executiva de Gestão das Águas

C - Chuvoso

CCM - Complexos Convectivos de Mesoescala

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

COMAM- Conselho Municipal de Meio Ambiente

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DOL - Distúrbios Ondulatórios de Leste

EEP - Eventos Extremos de Precipitação

EM - El Niño

EMA - Estação Meteorológica Automática

EMC - Estações Meteorológicas Convencionais

EM-DAT - The International Disaster Database

ENOS- El Niño – Oscilação Sul

EPF - Eventos de Precipitação Fraca

EPI - Eventos de Precipitação Intensa

FR – Frequência Relativa

HMG - Horas do Meridiano de Greenwich

IAC - Índice de Anomalias de Chuva

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais

LI- Linhas de Instabilidade

LN - La Niña

MC- Muito Chuvoso

MTA - Massa Tropical Atlântica

N – Normal

NEB - Nordeste Brasileiro

PNM - Pressão ao Nível do Mar

S - Seco

SCM - Sistemas Convectivos de Mesoescala

SEM - Estação Meteorológica de Superfície

SEMARH- Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais

SEMOB - Superintendência Municipal de Mobilidade Urbana

SINPDEC - Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil

SPI - Standardized Precipitation Index

TSM - Temperatura da superfície do mar

VCAN - Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

VCAS - Vórtice Ciclônico de Ar Superior

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>20</b>
2.1	OBJETIVOS GERAIS .....	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>21</b>
3.1	CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS DO NORDESTE BRASILEIRO .....	21
3.2	PRECIPITAÇÃO PLUVIAL .....	22
3.3	SISTEMAS ATMOSFÉRICOS DE QUE INFLUENCIAM NA PRECIPITAÇÃO .....	23
<b>3.3.1</b>	<b>Zona de Convergência Intertropical.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Frente Fria .....</b>	<b>25</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Distúrbios Ondulatórios de Leste ou Ondas de Leste .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.5</b>	<b>Linhas de Instabilidade.....</b>	<b>27</b>
3.4	INFLUÊNCIA DOS OCEANOS NOS MECANISMOS METEOROLÓGICOS ATUANTES NO NORDESTE .....	28
<b>3.4.1</b>	<b>O Dipolo do Atlântico.....</b>	<b>28</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Temperatura da superfície do Oceano Pacífico – ENOS.....</b>	<b>29</b>
3.5	DESASTRES NATURAIS CAUSADOS POR PRECIPITAÇÕES EXTREMOS ...	30
3.6	VULNERABILIDADES DOS CENTROS URBANOS .....	33
3.7	ÁREAS DE RISCO DA CIDADE DE JOÃO PESSOA-PARAÍBA.....	35
3.8	ESTATÍSTICA APLICADA .....	39
<b>3.8.1</b>	<b>Técnica do Percentil .....</b>	<b>39</b>
<b>3.8.2</b>	<b>Índice de Anomalias de Chuva.....</b>	<b>42</b>
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>44</b>
4.1	LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	44
4.2	VEGETAÇÃO.....	46
4.3	SOLO.....	47
4.4	CLIMA .....	49
<b>5</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>59</b>
5.1	LEVANTAMENTO DOS DADOS CLIMÁTICOS.....	59
5.2	ANÁLISE ANUAL.....	59
<b>5.2.1</b>	<b>Técnica dos Quantis .....</b>	<b>59</b>

5.3	ANALISE MENSAL .....	61
<b>5.3.1</b>	<b>Média Mensal Climatológica.....</b>	<b>61</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Desvio Padrão Mensal.....</b>	<b>61</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Índice de Anomalia de Chuva (IAC) .....</b>	<b>61</b>
5.4	ANALISE DIÁRIA .....	62
5.5	ANALISE HORÁRIA.....	63
<b>5.5.1</b>	<b>Tratamento dos Dados .....</b>	<b>64</b>
<b>5.5.2</b>	<b>Análise de Frequência .....</b>	<b>65</b>
<b>5.5.3</b>	<b>Classificação da Chuva Horária .....</b>	<b>66</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCURSÃO.....</b>	<b>67</b>
6.1	CLASSIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO ANUAL .....	67
6.2	CLASSIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MENSAL.....	70
<b>6.2.1</b>	<b>Análises Mensais do Índice de Anomalia de Chuvas .....</b>	<b>71</b>
6.3	CLASSIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA .....	80
6.4	EPISÓDIOS PLUVIOMÉTRICOS SUPERIORES A 150 MM/24H NA CIDADE DE JOÃO PESSOA.....	86
<b>6.4.1</b>	<b>Episódio de 30/05/1996 – 190,0 mm .....</b>	<b>86</b>
<b>6.4.2</b>	<b>Episódio de 26/06/2000 – 168,2 mm .....</b>	<b>87</b>
<b>6.4.3</b>	<b>Episódio de 20/05/2011 – 165 mm. ....</b>	<b>88</b>
<b>6.4.4</b>	<b>Episódio de 28/06/2012 – 151,6 mm. ....</b>	<b>90</b>
<b>6.4.5</b>	<b>Episódio de 04/09/2013 – 159,2mm. ....</b>	<b>92</b>
<b>6.4.6</b>	<b>Episódio de 14/06/2019 –182,4 mm .....</b>	<b>94</b>
6.5	CLASSIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO HORÁRIA .....	96
<b>6.5.1</b>	<b>Análise da intensidade da chuva horária .....</b>	<b>98</b>
<b>6.5.2</b>	<b>Precipitação máxima .....</b>	<b>99</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>101</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>104</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A precipitação é uma variável meteorológica importante e de essencial valor na natureza, o conhecimento sobre ela é indispensável, não só para caracterizar o clima do continente, mas também para o planejamento de inúmeras atividades produtivas, e ser um dos fatores meteorológicos responsáveis por impactos socioambientais em grandes centros urbanos. A frequência de eventos extremos de precipitação vem crescendo nos últimos anos, com maior intensidade e duração, favorecendo desastres naturais como as inundações e secas severas (MARENGO *et al.*, 2011; FU *et al.*, 2013; SONG *et al.*, 2015).

A partir do monitoramento de períodos secos e úmidos é possível obter informações no tempo e espaço de características como intensidade, duração e severidade de sistemas atmosféricos, permitindo que medidas preventivas sejam tomadas em curto prazo, para minimizar impactos causados por fenômenos severos, a exemplo das secas e enchentes.

Os eventos extremos de precipitação podem ocasionar alagamentos, deslizamentos de encostas e desmoronamentos, o que pode deixar as cidades em estado de calamidade pública. Alguns desses impactos decorrentes de inundações e os movimentos de massa, são denominados de “desastres naturais”, como deslizamentos, que resultam em danos (humanos e materiais) e prejuízos socioeconômicos, (KOBİYAMA *et al.*, 2006). Além disso, são os deslizamentos que geram o maior número de vítimas fatais (CARVALHO e GALVÃO, 2006).

É conhecido que esses impactos não são causados apenas pelas chuvas fortes. Eles ocorrem também devido a associação 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.

Assim, quando o crescimento urbano é 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).

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).

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

Portanto, estudos relacionados à variabilidade mudanças e eventos extremos de precipitação chamam atenção de diversos pesquisadores, órgãos públicos e privados nas últimas décadas. Em frequência e intensidade, os eventos que tornam evidentes à variabilidade e mudança no clima global geram consequências à biodiversidade dos sistemas naturais, perdas econômicas e de vidas (TANAJURA, 2010).

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 acontecem, majoritariamente, no outono e inverno, meses com maiores intensidades mensais de chuva (ANJOS *et al.*, 2006).

Nesse sentido, estudos do regime pluvial em diferentes escalas, diária e horária possuem imensa importância, pois, há poucas pesquisas que buscam compreender essas escalas temporais para as localidades paraibanas. A partir disso, houve a necessidade de observar além dos dados anuais e mensais, também o regime pluvial nas escalas horária e diária, visando estabelecer as principais características das chuvas para a cidade de João Pessoa.

Ressaltando que, o ciclo diário da precipitação é uma das periodicidades fundamentais nos estudos de climatologia pluvial, com escala temporal horária. Esse ciclo diário mostra horários preferenciais de ocorrência e/ou de ausência de chuvas, cujos mecanismos físicos e/ou dinâmicos de atuação na atmosfera ocorrem nas escalas global e regional. Maiores detalhes podem ser encontrados nos trabalhos de JANOWIAK; KOUSKY; JOYCE (2005).

Já que a compreensão da distribuição temporal e espacial das variações da precipitação pluvial é de grande valia, onde é possível auxiliar nos estudos hidrológicos e o planejamento de uso de recursos hídricos em projetos hidráulicos, no planejamento urbano e rural, que inclui desde a prevenção de enchentes ou deslizamentos de terras, dentre outros desastres.

Assim, esse trabalho possui a finalidade de compreender e avaliar a variabilidade da precipitação em diferentes escalas de tempo, identificando extremos de excesso de chuva, através de técnicas estatísticas, caracterizando os sistemas atmosféricos que possivelmente, influenciaram nessas precipitações extremas e relacionando com os desastres registrados na cidade de João Pessoa no período de 1991-2020.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVOS GERAIS**

Neste estudo o objetivo geral é o de utilizar análise matemático-estatística, para diagnosticar a variabilidade da série climatológica de precipitação do município de João Pessoa-PB, para compreender a dinâmica do ciclo horário, diário, mensal e anual da cidade, no período de 1991-2020, buscando relacionar o comportamento da variável aos fenômenos naturais e analisar a influência da precipitação como agente predisponente e deflagrador de desastres, relacionados às chuvas diárias e acumuladas.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- I.** Analisar a variabilidade da chuva em várias escalas de tempo;
- II.** Identificar anos extremos de precipitação através da classificação pluviométrica;
- III.** Identificar meses extremos de precipitação através do Índice de Anomalias de Chuvas;
- IV.** Identificar eventos de chuva intensa diária, com ênfase em casos extremos chuvosos;
- V.** Identificar os sistemas meteorológicos de grande escala favoráveis à ocorrência de eventos extremos de precipitação com base nos eventos identificados no estudo, evidenciando alguns impactos associados à intensidade dessas chuvas.
- VI.** Analisar a variabilidade horária da precipitação, investigando o comportamento da precipitação em escala temporal horária;
- VII.** Classificar os eventos de chuva ocorridos em 24 horas por níveis de intensidade (fraca, moderada, forte, muito forte) em  $\text{mm.dia}^{-1}$ ;

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS DO NORDESTE BRASILEIRO

A região do Nordeste brasileiro (NEB) possui como particularidade grande irregularidade na precipitação, seu comportamento decorre de um conjunto de fatores, bem como: suas características fisiográficas, que são influenciadas por vários sistemas atmosféricos, fenômenos transientes. Esses fenômenos são definidos e caracterizados pela grande variabilidade espacial e temporal das chuvas na região, tornando-se um fator danoso às localidades atingidas, pois tanto podem provocar enchentes, como também secas (ARAÚJO *et al.*, 2008).

Para o NEB, as grandes variações pluviométricas interanuais estão associadas às interações oceano-atmosfera, como as oscilações de TSM sobre os oceanos tropicais, as quais atuam na posição e na intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico, alterando a pluviosidade sobre o Norte do Nordeste (NNE) e o Planalto da Borborema (REPELLI e NOBRE, 1996; NOBRE e MELO, 2001).

Os mecanismos dinâmicos que produzem chuvas nessa região do Brasil podem ser classificados em mecanismos de grande escala, responsáveis por cerca de 30% a 80% da precipitação observada dependendo do local, e mecanismos de meso e microescalas, que completam os totais. Dentre os mecanismos de grande escala, se destacam os Sistemas Frontais e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Nos mesoescalas estão as Perturbações Ondulatórias no campo dos Ventos Alísios, complexos convectivos e Brisas Marítima e terrestre, enquanto circulações orográficas e pequenas células convectivas constituem fenômenos de microescala (MOLION e BERNARDO, 2002).

A dinâmica da atmosfera se processa em diferentes escalas de espaço e tempo, em função da ocorrência de fenômenos que operam em escala global, tais como as grandes células de circulação meridional, El Niño/La Niña e Oscilação Sul (ENOS), Dipolo do Atlântico, e em fenômenos que se processam regionalmente, como no caso das massas de ar e dos sistemas atmosféricos secundários que são capazes de alterar o funcionamento habitual da circulação geral da atmosfera (VAREJÃO-SILVA, 2006; ARAGÃO, 1998; FRANÇA *et al.*, 2000).

NOBRE e MOLION (1988 APUD MOLION e BERNARDO, 2002) sugerem que a confluência dos alísios com a brisa de terra (noturna) pode ser um dos mecanismos

importantes na produção de chuva na região costeira. As brisas, por si só, são mecanismos que produzem chuvas leves e de curta duração, assumem um papel de certo destaque, em termos de regularidade e intensidade, em determinadas áreas tropicais, como em grande parte do litoral do NEB. É um mecanismo sempre presente em todo litoral nordestino (MOLION e BERNARDO, 2002).

O regime pluviométrico no Estado da Paraíba é caracterizado por apresentar alta variabilidade espacial e temporal das chuvas, sendo de fundamental importância o monitoramento contínuo das condições atmosféricas sobre o estado e dos fatores globais condicionantes da precipitação (SEMARH). A Paraíba detém dois regimes de chuvas, um ocorre de fevereiro a maio, nas regiões do Alto Sertão, Sertão e Cariri/Curimataú, e o outro de abril a julho, no Agreste, Brejo e Litoral. As regiões homogêneas foram determinadas por Braga e Silva (1990) através de técnicas objetivas de análise multivariada, estendidas por Silva (1996), distribuídas no Litoral, Brejo, Agreste, Cariri/Curimataú, Sertão e Alto Sertão.

Os principais sistemas responsáveis são a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT (SERRA, 1941; HASTENRATH e HELLER, 1977), as Frentes Frias (ARAGÃO, 1975; KOUSKY, 1979), os Distúrbios de Leste ou Ondas de Leste (YAMAZAKI e RAO, 1977) e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) (ARAGÃO, 1975; KOUSKY e GAN, 1981).

### **3.2 PRECIPITAÇÃO PLUVIAL**

Dentre os elementos atmosféricos abordados nos estudos em Climatologia, pode-se destacar a precipitação, em sua forma de chuva líquida, como a principal variável analisada, uma vez que, também é a que mais afeta a sociedade, além de ser muito importante para caracterização climática de uma região (TOTA *et al.*, 2000).

A precipitação pluvial é o processo pelo qual a água condensada na atmosfera atinge gravitacionalmente a superfície terrestre, quando a precipitação é na forma líquida, é denominada de chuva (TUBELIS e NASCIMENTO, 1980). Ela apresenta uma grande variabilidade espacial e temporal em algumas regiões do planeta, como por exemplo, na região semiárida do Nordeste do Brasil (MARENGO *et al.*, 2011).

A chuva é um dos elementos climáticos mais importantes para o planejamento territorial a curto e longo prazo, pois afeta de forma sensível os mais variados grupos sociais, assim como instituições públicas, privadas e as dinâmicas da vida social de forma ampla (RAMIRES *et al.*, 2017).

De acordo com Sousa (2010), os eventos extremos são definidos como os totais de chuva em certo período seja anual, sazonal ou diário que apresentam desvios muito superiores ou inferiores ao comportamento habitual da área no período analisado. Assim, percebe-se que o conhecimento do comportamento das chuvas intensas é de grande valia para o planejamento do uso e ocupação da terra, de forma a prevenir os impactos associados a esses episódios.

### **3.3 SISTEMAS ATMOSFÉRICOS DE QUE INFLUENCIAM NA PRECIPITAÇÃO**

A localização do Nordeste Brasileiro (NEB) faz com que a influência de vários sistemas meteorológicos, atuando de forma diferenciada em relação à sua frequência e intensidade, torne a climatologia da região complexa, já que, a região parece ser o fim das trajetórias de alguns destes mecanismos. A atividade e intensidade desses sistemas são condicionadas à circulação atmosférica que é determinada pela condição térmica dos oceanos (FIGUEIREDO, 2002).

Em geral, no Nordeste do Brasil (NEB), vários são os mecanismos que governam o regime de chuva da região em larga escala, alguns são eles: “Frentes Frias, que elevam o índice de precipitação no sul do NEB” (KOUSKY, 1979); “Zona de Convergência Intertropical (ITCZ), que praticamente define a estação chuvosa em todo o NEB devido a sua estrutura física” (UVO, 1989); “Ondas de Leste (OL) que provocam precipitação em toda região Canavieira região leste do NEB” (CHAN, 1990; SILVESTRE 1996); “Linhas de Instabilidade (LI), Frentes Frias (FF) estão relacionadas com o regime de precipitação no sertão do NEB” (SILVA e COSTA, 1999; UVO e BERNDTSSON, 1996); Vórtices Ciclônicos de altos níveis (VCAN) considerado como um dos principais sistemas que atuam na estação chuvosa no NEB, segundo Aragão (1975), esses mecanismos são brevemente descritos a seguir.

#### **3.3.1 Zona de Convergência Intertropical**

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é o principal sistema meteorológico provedor de chuvas no setor norte do NEB, onde o Estado da Paraíba está inserido. Normalmente, a ZCIT migra de forma sazonal de sua posição mais ao norte, aproximadamente 12°N, em agosto-setembro, para posições mais ao sul e 4°S, em março-abril (UVO, 1989).

É o sistema meteorológico mais importante na determinação de quão abundante ou deficiente serão as chuvas no setor norte do Nordeste do Brasil, sua precipitação é responsável pela recarga de água de diversas Bacias nas regiões Norte e Nordeste. Em imagens de satélite é identificada por uma banda de nebulosidade, com característica convectiva, aproximadamente zonal, se estendendo ao longo da faixa equatorial do Globo. No Oceano Atlântico, a ZCIT dispõe de um deslocamento norte-sul e sua posição atinge as latitudes em torno de 15°N-20°N nos meses de agosto e setembro, e em 2°S-5°S no outono do Hemisfério Sul nos meses de março-abril (MELO *et al.*, 2002).

A quantidade e qualidade de chuvas produzidas por esse sistema dependem de inúmeros fatores meteorológicos, como: a posição e intensificação das altas pressões subtropicais, a TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico e o aquecimento produzido pela radiação solar. Todos esses fatores atuando em conjunto determinam o comportamento da estação chuvosa em todo setor norte do semiárido nordestino, e especificamente no Estado da Paraíba.

Na zona equatorial, em que os ventos alísios dos Hemisférios Norte e Sul convergem, é conhecida como Zona de Convergência Intertropical, podendo ser observada ao redor do globo. É uma região em que os ventos são mais calmos e as precipitações mais intensas. Nessa região, o ar é quente e úmido e ocorre intensa formação de nuvens convectivas profundas (FEDOROVA, 2001).

Existem muitos fatores atmosféricos que interferem na posição e intensidade da ZCIT, e na região em que está inserida ocorre uma interação de várias características atmosféricas e oceânicas em posições latitudinais próximas. Além da confluência dos Ventos Alísios e Cavado Equatorial, verifica-se a máxima Temperatura da Superfície do Mar (TSM), máxima convergência de massa e máxima cobertura de nuvens convectivas (FERREIRA, 1996).

No inverno, com o posicionamento da ZCIT mais ao Norte, e por causa da circulação de Hadley promove movimentos de subsidência que associados aos movimentos subsequentes da circulação Leste-Oeste, inibem mais ainda a convecção, tornando, portanto, a estação mais seca (MOLION e BERNARDO, 2002). Já em meados do verão e outono, a ZCIT se posiciona mais ao Sul, enfraquecendo os centros de pressão, e junto com a presença dos alísios, aumentam o transporte de umidade favorecendo a convecção e geração de precipitação.

Segundo Nobre e Molion (1987), em anos de seca no NEB, a ZCIT fica bloqueada mais ao Norte de sua posição normal, ficando então debaixo de uma região de subsidência que inibe a precipitação. Em anos chuvosos, ao contrário, a ZCIT move-se até cerca de 5°S

e se torna intensa com o aumento da convergência. As chuvas (secas) no NEB, coincidem como posicionamento da ZCIT mais para o Sul (Norte) (LOBO, 1982; UVO *et al.*, 1988). Chung (1982) e Hastenrath (1984) informam que, o aumento da TSM do Atlântico Sul e o enfraquecimento dos Alísios de Sudeste permitem o deslocamento mais para sul da ZCIT, causando chuvas mais intensas no Norte do NEB.

Estudos mostram que a quadra chuvosa do NEB se concentra de fevereiro a maio, que é quando a ZCIT se encontra sobre a região, trazendo as maiores médias pluviométricas no ano (HASTENRATH e HELLEN, 1977; HASTENRATH, 1978; LUCENA *et al.*, 2011). Em anos com valores de precipitação acima da média climatológica no Nordeste do Brasil, é por causa da posição mais ao sul da ZCIT, atuando principalmente, em conjunto com outros sistemas atmosféricos importantes como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

### **3.3.2 Frente Fria**

As frentes frias são o segundo mais importante sistema de precipitações. No Brasil elas atuam durante todo o ano e afetam de forma mais intensa as regiões sul e sudeste, e são responsáveis pelas chuvas e frio no sul do país. Em estudos da década de 70, Kousky (1979) mostrou que, a penetração de sistemas frontais e seus remanescentes têm papel marcante sobre a precipitação do NEB. Pois, os sistemas penetram no NEB durante o ano inteiro, ora organizando ora incrementando a precipitação convectiva, que desempenha um papel importante no máximo de chuvas de novembro a fevereiro em todo o NEB.

A Frente Fria é outro importante sistema causador de chuvas na Paraíba. A penetração ocorre até as latitudes tropicais, entre os meses de novembro e janeiro, é responsável pelas chuvas na faixa litorânea da região. As frentes frias são bandas de nuvens organizadas que se formam na região de confluência entre uma massa de ar frio (mais densa) com uma massa de ar quente (menos densa). A massa de ar frio penetra por baixo da quente, como uma cunha, e faz com que o ar quente e úmido suba, formando nuvens convectivas e estratiformes e, com isso, as chuvas (KOUSKY, 1979).

### **3.3.3 Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis**

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) que atingem a região Nordeste do Brasil formam-se no Oceano Atlântico, eles favorecem as chuvas na região e são observados nas estações de primavera, verão e outono, com máxima frequência no mês de janeiro, além de sua trajetória normalmente ser de leste para oeste (KOUSKY e GAN, 1981). Provocando chuvas na região Norte e Nordeste do NEB, na periferia do vórtice e tempo limpo na parte central e Sul do NEB, no centro do vórtice (GAN, 1982). Calbete e Satyamurty (1996) sugerem que, os vórtices ciclônicos de altos níveis são um dos principais sistemas meteorológicos que provocam alterações no tempo do Nordeste.

É um mecanismo de escala sinótica definido como centros fechados de baixa pressão situados na alta troposfera que atua sobre parte do NEB, podendo atuar durante 4 a 8 semanas sobre algumas regiões, conhecido como Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) ou de Ar Superior (VCAS). Seu aparecimento está relacionado com a circulação geral da atmosfera, com um centro de alta pressão localizado sobre a Bolívia, chamado Alta da Bolívia (AB), com a posição da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a penetração de Sistemas Frontais oriundos do Sul (MOLION e BERNARDO, 2002; SILVA 2005; CAVALCANTE *et al.*, 2009).

Os vórtices ciclônicos provocam alteração no tempo e, dependendo de sua intensidade e permanência, causam sérios problemas locais e regionais. Ao se deslocar para oeste sobre a Região Nordeste, este sistema com o centro sobre o interior do continente, inibe chuvas sobre esta região. O vórtice também impede o deslocamento dos sistemas frontais para o litoral do Nordeste, contribuindo para a permanência sobre a Região Sudeste onde causam precipitações persistentes.

### **3.3.4 Distúrbios Ondulatórios de Leste ou Ondas de Leste**

Os distúrbios ondulatórios de leste são ondas que se formam no campo de pressão atmosférica, na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos ventos alísios, e se deslocam de oeste para leste, ou seja, desde a costa da África até o litoral leste do Brasil, atuam no litoral leste do NEB. Na América do Sul este sistema provoca chuvas, principalmente, na Zona da Mata, que se estende desde o Recôncavo Baiano até o litoral do Rio Grande do Norte (FERREIRA *et al.*, 1990).

Um dos primeiros autores a diagnosticar o Distúrbio de Leste foi VISHNER (1925). São comuns na maioria dos anos e sua intensidade depende da temperatura da superfície do mar (TSM), do cisalhamento do vento e efeitos na orografia e da circulação de brisas Marítima e Terrestre, pois intensificam ou dissipam esses sistemas.

Como essa região é dominada pela massa de ar tropical marítima e pelo Anticiclone do Atlântico Sul, que provoca subsidência e a consequente inversão dos alísios. O ar úmido é injetado pela circulação anticiclônica e a zona de convergência associada ao cavado, provoca a ascensão desse ar, favorecendo a formação de nuvens de grande extensão vertical. Imediatamente após a passagem da onda, o nível de inversão dos alísios volta a baixar (VIANELLO e ALVES, 2006).

Gandú (1996) em seus estudos diz que, as anomalias da precipitação nas regiões Norte e Nordeste do Brasil também estão relacionadas à ação destas ondas de leste. Formadas no campo da pressão ao longo dos alísios, na faixa tropical do globo. Tendo um período médio de 4 a 5 dias e com uma velocidade de cerca de  $10 \text{ m s}^{-1}$ . Esses distúrbios, que se passam tanto no Oceano Pacífico (PALMER, 1952; CHANG, 1970; YANAI *et al.*, 1968; WALLACE e CHANG, 1969; TAI e OGURA, 1987) quanto no Oceano Atlântico Tropical (REED *et al.*, 1988; MERRIT, 1964), são conhecidos por mais de meio século.

São os principais responsáveis por um percentual considerável da precipitação que acontece no quadrimestre chuvoso do leste do Nordeste (abril a julho) (PAIVA NETO, 2003; FERREIRA e MELLO, 2005). São fundamentais para a estação chuvosa da Zona da Mata (maio-agosto), contribuindo com elevados índices pluviométricos. As OL atuam de forma intensa na Zona da Mata entre os meses de maio a agosto (fim do outono e todo inverno), chegando a ter fraca intensidade nos primeiros meses da primavera (NIMER, 1979; MOTA e GANDÚ, 1996; MACHADO *et al.*, 2009; PEREIRA, 2014).

Segundo Ratisbona (1976), os Distúrbios de Leste têm o seu máximo em junho, atuando sobre o até o litoral leste do NEB. Essas massas de ar são instáveis, profundas e úmidas, por causa dos ventos Alísios de Sudeste. Quando as condições oceânicas e atmosféricas estão favoráveis as Ondas de Leste também provocam chuvas em quase toda a porção leste do Litoral nordestino.

### **3.3.5 Linhas de Instabilidade**

As linhas de instabilidade são relevantes na contribuição dos regimes pluviométricos, principalmente, da região da costa norte do Nordeste brasileiro, que são formadas inicialmente por circulação de brisa marítima e a interação com os alísios, induzindo a formação de uma linha de nuvens cumulunimbos paralela à costa.

As linhas de instabilidade (LI) são descritas por grande parte dos autores como aglomerados convectivos alinhados, responsáveis por bandas de chuvas fortes, seguido de

precipitação estratiforme (HOUZE *et al.*, 1990), e são frequentemente observadas entre a faixa que se estende das latitudes médias até o equador. Browning e Ludlam (1962) são responsáveis pelo desenvolvimento dos primeiros modelos conceituais para explicar o fluxo de ar dentro destas linhas de instabilidade.

De acordo com Cavalcanti (1982), formam-se basicamente pela maior quantidade de radiação que chega à região tropical, com isso maior evaporação, acarretando no desenvolvimento de nuvens, que se formam em maior quantidade no final do período da tarde e anoitecer, quando a convecção torna-se mais ativa, conseqüentemente provocando chuvas no litoral Norte do Nordeste. A aproximação da ZCIT de dezembro a março também contribui para a intensificação das LI. O mesmo autor mostrou que, as linhas de instabilidade têm maior frequência nos meses de outono e inverno austral. Segundo Cohen *et al.* (1989), as linhas de instabilidade contribuem com 45% da precipitação durante o período chuvoso no Norte do NEB.

### **3.4 INFLUÊNCIA DOS OCEANOS NOS MECANISMOS METEOROLÓGICOS ATUANTES NO NORDESTE**

#### **3.4.1 O Dipolo do Atlântico**

O Dipolo do Atlântico é o fenômeno oceano/atmosférico identificado como uma mudança anômala na temperatura da superfície água do mar no Oceano Atlântico Tropical, ou seja, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais quentes e as águas do Atlântico Equatorial e Tropical Sul estão mais frias existem movimentos descendentes transportando ar frio e seco dos altos níveis da atmosfera sobre a região setentrional, central e sertão do Nordeste inibindo a formação de nuvens e diminuindo a precipitação (Fase Positiva do Dipolo), podendo causar secas. Por outro lado, quando as águas do Atlântico Tropical Norte ficam mais frias e as águas do Atlântico Tropical Sul mais quentes existem aumentos nos movimentos ascendentes sobre estas regiões, intensificando a formação de nuvens e elevando os índices pluviométricos (Fase Negativa do Dipolo) (HASTENRATH e HELLER, 1977; MOURA e SHUKLA, 1981; ARAGÃO, 1998).

Quando o dipolo do Atlântico está na fase negativa (presença de anomalias negativa no Atlântico Norte e positiva no Atlântico Sul), há o favorecimento de precipitação acima da média sobre o NEB, do contrário, em sua fase positiva, há precipitação abaixo da média

(ANDREOLI e KAYANO, 2007). Sendo favorável as chuvas para o setor Norte do Nordeste do Brasil, como visto por SOUZA *et. al.*, (1997) e SOUZA *et. al.*, (1998).

No chamado Dipolo Positivo do Atlântico o movimento é contrário. Conforme os resultados de Xavier e Xavier (1999), a maior pressão atmosférica sobre o Atlântico Sul, decorrente da menor temperatura relativa à superfície, impede que a ZCIT desça abaixo da linha do Equador pela intensificação dos alísios de Sudeste, influenciando negativamente no volume de chuvas no NEB.

Alves *et al.* (2009) afirmam que, o impacto do Dipolo do Atlântico sobre o NEB é mais robusto e sistemático do que o ENOS. E que a ocorrência de um evento de DN correlacionou positivamente com o aumento do valor agregado da produção agrícola. Portanto, o Dipolo do Atlântico Tropical é de grande valor para a quadra chuvosa da região do NEB.

### **3.4.2 Temperatura da superfície do Oceano Pacífico – ENOS**

De acordo com o CPTEC, o El Niño e a La Niña são partes de um mesmo fenômeno atmosférico-oceânico que acontece no oceano Pacífico Equatorial (e na atmosfera adjacente), denominado de El Niño Oscilação Sul (ENOS). O ENOS refere-se às situações nas quais o oceano Pacífico Equatorial está mais quente (El Niño) ou mais frio (La Niña) do que a média normal histórica. A mudança na temperatura do oceano Pacífico Equatorial acarreta efeitos globais na temperatura e precipitação.

O Nordeste do Brasil (NEB) é uma das regiões do mundo que sofre com tais irregularidades pluviométricas apresentando eventos extremos, como secas severas ou chuvas excessivas, que têm sido relacionados aos padrões anômalos de grande escala da circulação atmosférica global associada, sobretudo, ao fenômeno El-Niño-Oscilação Sul (ENOS) (ANDREOLI *et al.*, 2004). Sobre o oceano, o ENOS é caracterizado pela temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico equatorial central e leste anormalmente positivas (El Niño) em uma fase e negativas (La Niña). Há uma conexão dinâmica entre a componente e à Oscilação Sul, que se reflete como uma gangorra barométrica com centros de ação na Indonésia e no Pacífico sudeste.

Quando se encontra na fase quente conhecida por El Niño, a convecção se instala sobre o Pacífico Leste, e a subsidência sobre o Nordeste Brasileiro. Enquanto na fase oposta, em que as águas do Pacífico Leste se encontram anormalmente mais frias que o

normal, chamada La Niña, sobre o Pacífico central-leste se instala um centro de alta pressão e conseqüentemente, movimento vertical dos ventos descendente, sobre a região amazônica e parte do NEB se configura um centro de baixa pressão, provocando convecção e favorecendo a ocorrência de precipitação na região (MOLION; BERNARDO, 2002).

É notório que diversas pesquisas procuram relacionar anos secos/chuvosos no NEB com ENOS, mas estudos observacionais e estatísticos realizados por Hastenrath e Heller (1977) e simulações numéricas por Moura e Shukla (1981), Servain (1991), Nobre e Shukla (1996), evidenciam um padrão de anomalias da TSM sobre o oceano Atlântico tropical, comumente chamado de padrão de Dipolo do Atlântico, e que está relacionado as mudanças nos valores de precipitação sobre a região Nordeste e Norte do Brasil.

Em anos de El Niño, quando as águas superficiais da bacia do Pacífico em torno do Equador estão mais aquecidas, a convecção equatorial desloca-se para o Leste, alterando o posicionamento da célula de Walker. Dependendo da intensidade dessa célula pode haver inibição da formação de nuvens e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) desloca-se para Norte e, com isso, favorece a aparição de períodos secos ou muito secos na região do NEB.

O oposto se sucede em anos de La Niña. Quando o resfriamento das águas do Oceano Pacífico em associação ao Dipolo Negativo do Atlântico, o qual fortalece o centro de Alta Pressão do Atlântico Norte (AAN), soprando ventos de Nordeste que empurram a ZCIT para uma posição mais ao Sul. Normalmente é responsável por anos considerados normais, chuvosos ou muito chuvosos na região Nordeste dependendo da intensidade. O oposto ocorre novamente, salvo algumas particularidades (GRIMM e TEDESCHI, 2004).

### **3.5 DESASTRES NATURAIS CAUSADOS POR PRECIPITAÇÕES EXTREMOS**

Os desastres naturais podem ser conceituados, de forma simplificada, como o resultado do impacto de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social, causando sérios danos e prejuízos que excede a capacidade dos afetados em conviver com o impacto (TOBIN e MONTZ, 1997; UNDP, 2004).

Os desastres naturais podem ser ainda originados pela dinâmica interna e externa da Terra. Os decorrentes da dinâmica interna são terremotos, maremotos, vulcanismo e tsunamis.

Já os fenômenos da dinâmica externa envolvem tempestades, tornados, inundações, escorregamentos, entre outros (TOMINAGA, 2009).

Os desastres naturais em áreas urbanas pela concentração populacional, causam maior risco à população. No Brasil, esses desastres são principalmente, de origem climática, com predomínio das inundações, dos alagamentos e dos movimentos de massa. Os desastres naturais no país apresentam relação direta com o clima, devido se encontrar distante do contato das Placas Tectônicas e está, portanto, livre de terremotos de grande intensidade, que ocorrem em países como Chile e Japão.

As consequências de uma série de problemas sociais e processos humanos ou naturais pode desencadear um desastre, definido como:

Resultado de eventos adversos, naturais ou provocado pelo homem sobre um cenário vulnerável, causando grave perturbação ao funcionamento de uma comunidade ou sociedade envolvendo extensivas perdas e danos humanos, materiais, econômicos ou ambientais, que excede a sua capacidade de lidar com o problema usando meios próprios. (INSTRUÇÃO NORMATIVA, 2012, p.1)

As chuvas torrenciais e inundações estão se tornando mais comuns, e os danos causados por tempestades e ciclones tropicais aumentando, como citado no relatório sobre eventos extremos do IPCC–SREX (IPCC, 2012). Mudanças nos padrões de enchentes e secas em algumas regiões indicam alterações nas condições hidrológicas. Ameaças significativas em relação a enchentes, evaporação e evapotranspiração não têm sido bem detectadas globalmente e exigem estudos mais detalhados regionalmente. Algumas ameaças na redução dos níveis dos reservatórios e de lagos naturais têm sido reportadas, mas parecem estar muito mais associadas às atividades humanas do que propriamente as mudanças do clima global (IPCC, 2007).

A investigação dos perigos do passado e o monitoramento da situação presente possibilitam entender e prever a ocorrência de perigos futuros permitindo que a comunidade ou o poder público minimizem o risco de um desastre. O risco só existe quando há perigo potencial de causar dano a um elemento, ou a um sistema socioeconômico que possa ser atingido (VEYRET, 2013).

Nesse sentido, a intensa urbanização em áreas de risco nas cidades brasileiras, ainda desprovidas de planos diretores, gera questionamentos quanto às possíveis resoluções de conflitos entre o desenvolvimento socioeconômico e a preservação dos recursos naturais, o que torna o país vulnerável do ponto de vista dos Eventos Climáticos Extremos. Essa vulnerabilidade é agravada, de forma significativa, devido à falta de planejamento urbano,

ordenamento territorial e crescimento desordenado das metrópoles brasileiras. O incremento dos eventos atrelados ao acréscimo populacional e à invasão de áreas de risco para assentamentos humanos, ou para produção agrícola, resultam em uma ameaça real para milhares de pessoas anualmente (GOLDEMBERG, 2000; ROBERTS, 2009; WORLD, 2010; FEARNSIDE, 1989 e 1997; REIS e MARGULIS, 1991; HECHET, *et al.*, 1993).

No Brasil, os Eventos Climáticos Extremos mais frequentes estão relacionados aos fenômenos pluviométricos e hidrológicos. Esse fato se dá pelo território localizar-se em áreas tropicais de clima quente, propícias aos grandes acumulados de precipitação durante a estação chuvosa (verões austrais), e ao grande potencial de evapotranspiração relacionado às altas temperaturas e o déficit pluviométrico de suas regiões semiáridas (MARENGO, 2007). Quando os fenômenos naturais atingem áreas ou regiões habitadas pelo homem causando-lhe danos, dá-se o nome de desastres naturais (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

Beniston e Stephenson (2004); Christensen e Christensen (2004) e Zolina *et al.* (2010) sugerem que nas últimas décadas os eventos extremos estão ocorrendo com mais frequência em todo o mundo. Devido os seus impactos ambientais e por ser um fator importante para desenvolvimento socioeconômico, os estudos de eventos extremos climáticos despertam cada vez mais interesse (ZHANG *et al.*, 2011).

Marcelino (2008), por meio dos dados do EM-DAT3, observa que no Brasil as inundações representam 59%, em média, dos desastres naturais, seguidos dos deslizamentos de encostas, que somam 14%. O autor também apresenta que mais de 80% dos desastres no país estão associados às questões climáticas, isto é, às instabilidades atmosféricas severas típicas de regiões tropicais e subtropicais.

Kostopoulo e Jones (2005) afirmam que, o aumento nas perdas econômicas devido a extremos de tempo e, especialmente, o aumento na perda de vidas, tem sido regularmente notícias de jornais, despertando o interesse da comunidade científica em estudar os fenômenos climáticos. Daí, tanto o excesso de chuvas quanto a falta delas, como os eventos extremos de precipitação, que incluem chuvas extremas e os longos períodos de dias consecutivos secos, são os fenômenos atmosféricos mais perturbadores (ZIN *et al.*, 2010).

Esses eventos extremos ou intensos são geradores de múltiplos impactos sociais e inclusive, riscos e desastres do tipo hidrológico (inundações, enxurradas e alagamentos). No Brasil, somente no ano de 2011 morreram cerca de 890 pessoas por desastres naturais provocados por eventos extremos (BRASIL, 2012).

Destaca-se ainda que, a região Nordeste possui o maior número de desastres naturais decretados como Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública, e a Paraíba é um

dos estados que possui o maior número de reconhecimentos (BRASIL, 2016). No estado, os desastres naturais de maior ocorrência são de natureza climática associada à estiagem/seca, seguidos dos desastres hidrológicos associados às inundações (MOURA *et al.*, 2017). De acordo com Fedorova (2001), as estações chuvosas, frequentemente desastrosas nas regiões tropicais estão associadas ao deslocamento da ZCIT.

Ressaltando que, as principais consequências desses eventos extremos para a sociedade são: enxurradas, inundações, vendavais, granizo, alagamentos, tempestades de raios. No estado da Paraíba, no período de 1991 a 2012, foram registrados 2.341 eventos de desastres naturais reconhecidos pelo Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC), segundo Brasil (2012) a Paraíba no período supracitado, é caracterizada por recorrentes desastres hidrológicos tipo enxurrada, com 215 registros, seguido 136 eventos de inundação, 3 de alagamentos e 1 de vendaval. Esses acontecimentos podem ser considerados como risco ambiental (JACOBI, 2006) que tem maior impacto sobre a população que vive em habitações precariamente construídas em áreas de risco.

### **3.6 VULNERABILIDADES DOS CENTROS URBANOS**

De um ponto de vista geral, a vulnerabilidade pode ser definida como a probabilidade que uma comunidade se encontra exposta a um perigo natural, de acordo com o grau de fragilidade dos seus elementos: infraestrutura, habitação, atividades produtivas, grau de organização, sistemas de alerta, o desenvolvimento político-institucional entre outros, a danos materiais e humanos (CEPAL, 2000, TAPSELL, *et al.*, 2010).

Pode-se descrever que nas últimas décadas, vem crescendo o número de registros dos desastres naturais em todo o planeta. Alguns dos principais fatores que contribuem são o aumento populacional, a ocupação desordenada do solo e ao intendo processo de industrialização.

Logo, os principais fatores que intensificam os desastres nas áreas urbanas estão na impermeabilidade do solo, as ilhas de calor e a poluição do ar. Por isso, destaca-se a falta de planejamento urbano. CIDADES/IPT (2007) mostra que alguns processos de alagamentos e enxurradas, muito comuns nas cidades brasileiras se dá devido as deficiências do sistema de drenagem urbana.

As vulnerabilidades socioambientais podem causar prejuízos na saúde, no bem-estar e, conseqüentemente, na qualidade de vida humana e ambiental. Ou seja, tem impactos

negativos diretos na vida de milhões de pessoas, em especial, nas áreas urbanizadas (SALES, 2016).

O município de João Pessoa, fundado em 1585 já na condição de cidade, permaneceu com sua estrutura física (5,84 Km<sup>2</sup>) limitada ao entorno do núcleo de povoação inicial, até a década de 1910. No século XX, significativas mudanças ocorreram na sua infraestrutura, o que possibilitou a sua expansão para a porção leste da cidade (LAVIERI e LAVIERI, 1992). Em 1972, a área urbana ocupada era de 29,01 km<sup>2</sup>, aproximadamente 30% da área total da cidade atual (OLIVEIRA, 2006), na Figura 1 observa-se as concentrações urbanas atualmente.

Segundo Gonçalves *et al.* (1999), a urbanização em João Pessoa teve início a partir do final do século XIX, devido ao desenvolvimento da produção algodoeira que impulsionou os serviços públicos na capital e ao colapso do trabalho escravo que fez com que os senhores de engenho e fazendeiros passassem a ter residência permanente na cidade.

Ao descrever a forma dispersa e fragmentada assumida pela cidade de João Pessoa-PB, Silva (1997) constatou que, entre as décadas de 1970 e 1980, a população da cidade cresceu 62%, enquanto a área urbana ampliou-se em 170%. Segundo a autora, neste mesmo período constaram-se graves problemas ambientais, entre eles a supressão das áreas verdes e a poluição dos rios e praias. Ribeiro *et al.* (2009), ao estudarem o fenômeno da dispersão urbana em João Pessoa -PB, notaram, também, que a expansão da cidade ocorreu de forma extensiva e com grandes vazios urbanos, principalmente entre as décadas de 1970 e 1990, provocando invasões de áreas por assentamentos irregulares e a supressão de áreas verdes.

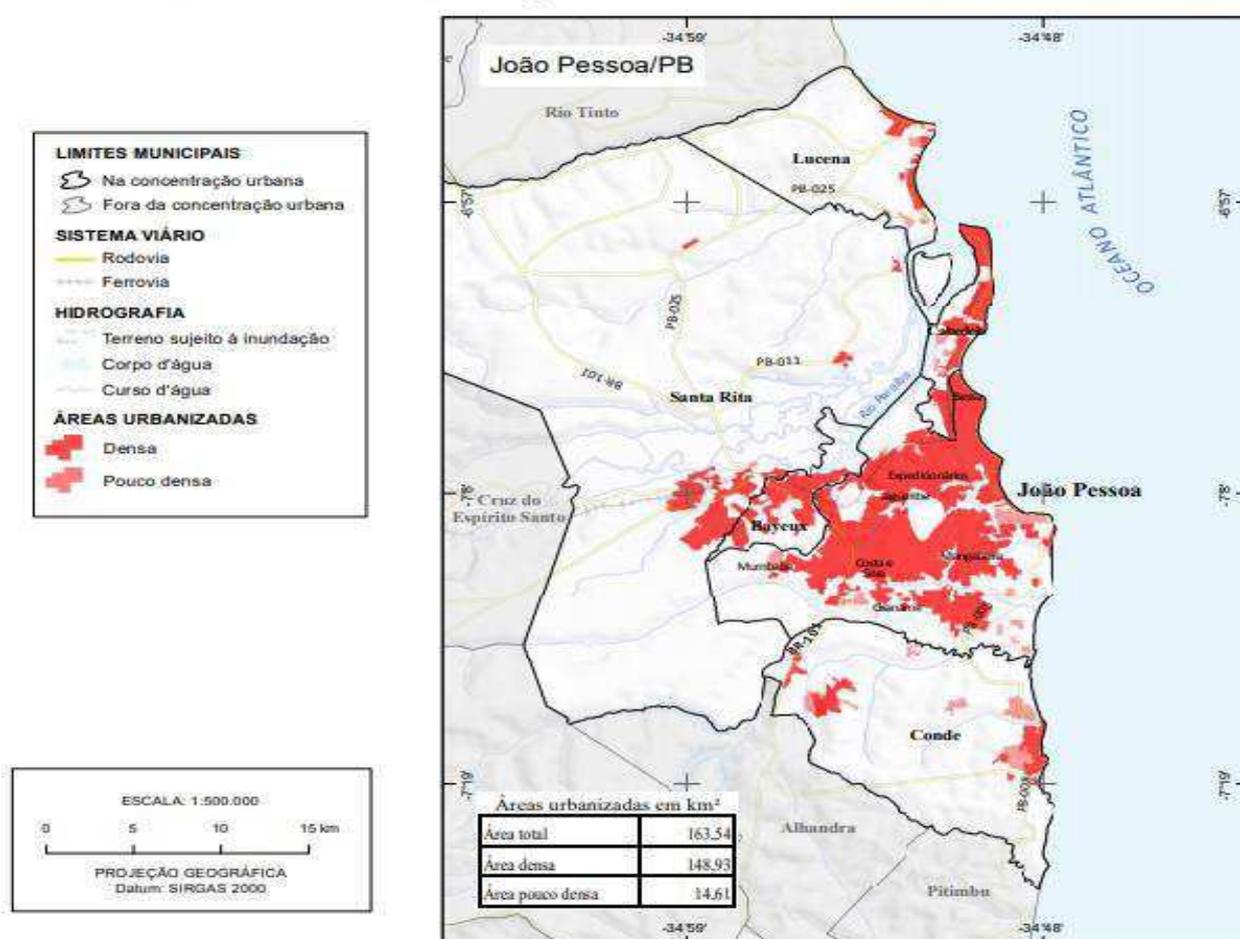


Figura 1 - Áreas Urbanizadas das Concentrações Urbanas de João Pessoa-PB.  
Fonte: IBGE, DGC/Coordenação de Geografia; IBGE, DGC/Coordenação de Cartografia.

### 3.7 ÁREAS DE RISCO DA CIDADE DE JOÃO PESSOA-PARAÍBA

Portanto, além da preocupação já existente em relação aos desastres, deve-se relacioná-la à vulnerabilidade existente nas áreas urbanas, seja em função de seu aumento ou concentração populacional. Como afirmam Hayakawa e Ultramari (2008), toda a população não será afetada da mesma forma, o que instiga a necessidade de um planejamento mais holístico no que diz respeito aos desastres naturais, considerando-se também o aspecto social.

A combinação de fatores naturais e sociais é que definem o desastre, ou seja, se são as características físicas do evento que determinam a probabilidade de ocorrência do fenômeno, são as condições sociais de vulnerabilidade que determinam o grau de impacto. Os desastres são, pois, parte do contexto e se modificam quando algum elemento natural ou social é alterado. (HAYAKAWA; ULTRAMARI, 2008, p. 3).

O processo de urbanização do Brasil se iniciou na década de 1950, com um mau acompanhamento das políticas de desenvolvimento urbano. Nesse sentido, a população mais

carente sem condições de adquirir uma residência legalizada, ocuparam aqueles terrenos não disponíveis no mercado imobiliário, logo, eles estão localizados em áreas de risco potencial. Isso têm gerado diversos problemas que afetam diretamente a qualidade ambiental das cidades. Inundações, erosão e assoreamento de reservatórios e cursos d'água são consequências do uso inadequado da terra (PACHÊCO e RIBAS, 1998), que terminam por influenciar na qualidade de vida da população residente.

As principais áreas de risco são aquelas sob encostas de morros inclinados ou à beira de rios. Existem vários serviços de assistência à população em casos de emergência, sendo a Defesa Civil a principal instituição responsável pelo monitoramento das áreas de risco.

O Município de João Pessoa, distribuído em uma área de 211,475 km<sup>2</sup> (IBGE, 2017), conta, atualmente, com contingente populacional estimado em 811.598 habitantes, distribuídos em 65 bairros nas quatro zonas, comportando no seu espaço físico 106 aglomerados subnormais, antes eram favelas, inseridas na zona urbana da cidade.

A Defesa Civil do município de João Pessoa foi criada através da Lei nº 12.644/2013, e constituída como órgão. A partir disso, surgiu a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC/JP) que possui a finalidade básica de planejar, articular e coordenar todas as ações de proteção e defesa civil, nos períodos de normalidade e anormalidade no município. Se trata do órgão integrante do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil e manterá estreito intercâmbio com os demais órgãos congêneres municipais, estaduais e federais com o objetivo de receber e fornecer subsídios técnicos para esclarecimentos relativos à proteção e defesa civil.

Segundo o órgão cidade, nos últimos anos a capital reduziu de 35 para 27 áreas consideradas de riscos, e com a implantação do Programa João Pessoa em Ação também tem auxiliado na redução do número de ocorrências de desastres na cidade. Porém, elas são preocupantes quando associadas aos extremos de precipitação.

Estas áreas apresentam característica de vulnerabilidade social e ambiental, constituídas por famílias de baixa renda em áreas com probabilidade de inundações, alagamentos, deslizamentos e moradias precárias susceptíveis a desabamentos, por causa das suas instalações nas margens dos rios, como também no topo e no pé das encostas das áreas críticas, além disso, a situação se agrava notadamente nos períodos das chuvas. Na Figura 2 estão as áreas de risco na cidade, destacadas em vermelho, e onde estão situadas.



Figura 2- Mapa da Cidade de João Pessoa identificando as áreas de risco existentes.  
Fonte: COMPDEC-JP

O levantamento foi realizado pela Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de João Pessoa (COMPDEC-JP) que identificou quais os riscos que cada comunidade é propensa. A COMPDEC-JP realiza constantemente o monitoramento dessas áreas a fim de identificar as moradias comprometidas e interditá-las, na Tabela 1 é possível observar as comunidades que são afetadas diretamente com eventos extremos de chuva.

A prioridade é relocar essas famílias para áreas que não as exponham a riscos. Esse tipo de ação, de caráter preventivo, encontra empecilhos e demanda um planejamento que atenda às necessidades sociais das famílias deslocadas.

O primeiro desafio pode ser classificado como logístico, pois, deverão ser definidas áreas para essa transferência e, considerando o número de famílias, muitas vezes torna-se difícil realizar esse controle e evitar que voltem a se estabelecer em outras áreas de risco. Quando não deslocadas para residências definitivas, as famílias são transferidas para abrigos ou é concedido pela prefeitura um auxílio social destinado ao pagamento de aluguel de outra

residência. Outro desafio é retirar do convívio social, famílias que ali já firmaram vínculos culturais, sociais e empregatícios.

Tabela 1 - Comunidades em áreas de risco na cidade de João Pessoa.

Nº	DESCRIÇÕES/ IDENTIFICAÇÃO				Número de pessoas afetadas pelo tipo de Risco		
	Comunidade	Bairro	População	Domicílios	Desmoronamento	Deslizamentos	Alagamento / Inundações
1	Saturnino de Brito	Trincheiras	2.100	500	150	325	*****
2	Santa Clara	Castelo Branco II	1.750	350	105	210	35
3	São Rafael	Castelo Branco/ R. Tabajara	1.800	345	52	86	173
4	Tito Silva	Miramar	1.900	380	57	95	190
5	São José	São José	2.000	402	60	101	201
6	São Judas Tadeu	Alto do Mateus	1.030	206	41	72	*****
7	Boa Esperança	Cristo	5.200	1.050	210	368	105
8	Maria de Nazaré	Funcionarios II	2.250	500	125	175	*****
9	Riacho/Riachinho	13 de Maio	950	210	53	74	21
10	Chatuba	Manaira	1.900	361	108	*****	253
11	Sta Emilia de Rodath	Ilha do Bispo	1.700	400	120	*****	240
12							
13	Porto do Capim	Varadouro	550	130	52	*****	78
14	Felipéia	Tambiá	205	41	16	25	*****
15	Beira da Linha	Alto do Mateus	1.400	280	28	84	168
16	Barreira /Cabo Branco	Cabo Branco / Rua José Eduardo de Holanda	450	90	*****	63	*****
17	Comunidade "S"	Roger	930	193	58	19	77
18	Sta. Bárbara	Valentina	1.500	300	60	90	*****
19	Nova República	Geisel	2.200	480	96	*****	192
20	Arame	Grotão	450	100	20	40	*****
21	Bananeiras	Grotão	1.100	240	60	96	
22	Porto de João Tota	Mandacaru	2.500	600	60	*****	240
23	Jardim Coqueiral	Mandacaru	3.300	760	152	*****	266
24	Rua Ari Barroso	Alto do Mateus	180	45	9	36	*****
25	São Geraldo	Rua: São Geraldo Nº 101/110 (Ptº de referencia)	100	25	8	*****	10
26	KM-19/ BR-230	Castelo Branco - II	340	85	17	68	*****
27	Padre Hildom	Torre	1.320	330	66	*****	132
0.27	Renascer - I Distrito Mecânico/Varadouro	Distrito Mecânico / Varadouro	360	90	18	72	*****
		<b>TOTAL</b>	<b>39.465</b>	<b>8.493</b>	<b>1801</b>	<b>2098</b>	<b>2380</b>

Fonte: COMPDEC-JP, 2015.

### 3.8 ESTATÍSTICA APLICADA

Sabe-se que, a previsão e o monitoramento de eventos meteorológicos caracterizados como extremos são de suma importância para os projetos de abastecimento de água, geração de energia elétrica e também de atividades agrícolas. Assim, com o monitoramento dos períodos secos e períodos úmidos é provável obter conhecimentos no tempo e espaço de características como, intensidade, duração e severidade de sistemas atmosféricos, podendo assim, adotar medidas preventivas em curto prazo, para diminuir impactos causados por fenômenos severos como secas e enchentes, (SANTOS *et al.*, 2011).

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 meteorológicos extremos de excesso ou escassez de chuva se destaca o Método dos Percentis e Índice de Anomalia de Chuva.

#### 3.8.1 Técnica do Percentil

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. 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  $X$ .

Alguns autores adotaram o Percentil por ser uma técnica capaz de detectar eventos extremos, utilizada com sucesso em várias regiões do mundo como mostram os estudos de Lima *et al.* 2010; Teixeira e Satyamurty, 2011; Oliveira *et al.* 2012, 2014 e 2016; Santos, *et al.* 2015 e Costa *et al.* 2015. E de acordo com Fehine e Galvêncio (2010), esta técnica é considerada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), adequada para manipulação de dados climatológicos.

Wanderley *et al.* (2018) estudaram a climatologia dos eventos extremos de precipitação diária para a cidade do Recife (1961-2016) utilizando a técnica dos quantis, demonstrando que as maiores frequências absolutas dos quantis de chuva forte ( $Q_p=0,85$ ) a extremamente forte ( $Q_p=0,95$ ) e excepcionalmente forte ( $2*Q_p=0,95$ ) estão concentrados entre os meses de março e julho. Determinaram também que a maior frequência dos eventos se dá entre os meses de junho e julho, com 269 e 250 eventos iguais ou superiores a 25 mm, respectivamente.

Ainda usando a técnica dos quantis, Duarte *et al.* (2015) utilizando as probabilidades: (0,05), (0,15), (0,25), (0,65), (0,85) e (0,95), os anos estão distribuídos em Extremamente Seco, Muito Seco, Seco, Normal, Chuvoso, Muito Chuvoso e Extremamente Chuvoso. A predominância de anos secos entre as décadas de 1940 e 1960 pode ter sido afetada pela ocorrência de fenômenos de El Niño, agravados por uma fase positiva do Dipolo do Atlântico, e maior acontecimento de anos chuvosos a extremamente chuvosos, que coincidem com os eventos de La Niña forte e fracos, intensificados pela fase negativa do Dipolo do Atlântico, para a análise anual da precipitação de Ipojuca-PE no período 1941 a 2013.

Da mesma forma, Santos *et al.* (2016) realizaram uma classificação pluviométrica da cidade de Salvador, determinando o ano de 1964 o mais extremo “muito chuvoso” e o ano 1961 é o extremo “muito seco”, encontrando o maior número desses eventos nas décadas de 1960 e 1980. Ainda observaram que, os eventos “muito chuvosos” estão concentrados nas décadas de 1970 e 1980, afirmando que a utilização da técnica dos quantis possibilitou realizar um perfil climatológico da precipitação na cidade.

A variabilidade espacial da precipitação no estado do Espírito Santo foi determinada através do percentil 0,75, que evidenciou diferentes microclimas no estado, mostrando que os municípios que compõem a região noroeste têm menor precipitação, principalmente, no mês de junho, de acordo com Lima *et al.* (2016). Gois *et al.* (2019) na análise da variabilidade da chuva média mensal no período 1995 a 2017 para a cidade de Resende-RJ, aplicando a técnica dos quantis, revelaram que as menores diferenças pluviométricas anuais foram nos percentis dos quantis de 25% e 50% da média e mediana, seguido das diferenças superior à média, nos percentis de 75% a 100% dos quantis.

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 compreende os meses de março a maio (28,5%) e o segundo de outubro a janeiro (42%). Períodos em que foi observado o maior número de eventos intensos.

Outro estudo que utilizaram a técnica do percentil foi o de Medeiros *et al.* (2015) e Filho *et al.* (2017), que classificaram os eventos extremos dos totais diários maiores do que o percentil  $p = 97$  identificando 247 eventos na cidade de João Pessoa em 1961-2012, e que o percentil  $p = 95$  assim auxiliando no diagnóstico o comportamento dos máximos diários para o período de fevereiro a julho no estado de Sergipe.

Machado *et al.* (2019) também apresentaram como objetivo no seu estudo a identificação dos casos de eventos extremos de Precipitação (EEP) na cidade de Bauru-SP, fez-se o cálculo para o percentil 99% e o resultado foi de 71,5 mm, assim identificando 16 EEP ocorridos entre 2001 e 2017, ainda classificando sete como desastres naturais.

Pereira *et al.* (2018) tiveram percentis para a identificação dos limiares para a detecção dos eventos extremos de precipitação, com potencial para causar alagamento no estado do Rio Grande do Sul para o período 1964-2013, considerando dois tipos de eventos de acordo com a intensidade da precipitação acumulada em 48 horas associada aos casos de alagamento: casos de atenção, com limiares de acordo com o percentil 25, e casos de alerta, de acordo com o percentil 75 dos valores de precipitação.

Através da aplicação do percentil, Zandonadi *et al.* (2016) identificaram tendências positivas para a precipitação anual total na região leste da bacia do Paraná, afirmam ainda que, os aumentos nas chuvas foram causados principalmente, pelo aumento de eventos extremos de precipitação, em especial, daqueles acima do percentil  $p = 95$ .

Com foco nos episódios extremos para o município de Jaboatão dos Guararapes no período de 1999-2011, Nobrega e Farias (2016) analisaram a variabilidade da precipitação pluviométrica aplicando a técnica dos quantis para categorizar quantitativamente os volumes de chuva mensal e diário, e classificaram como muito chuvosos e extremamente chuvosos.

De acordo com Gonçalves (2004), Zanella, Sales e Abreu (2009), Cavalcanti (2009), Zanella (2014) e Temoteo (2016), são considerados eventos intensos aqueles iguais ou superiores a 60 mm/dia e extremos aqueles iguais ou superiores a 100,0 mm/dia. Embora, esses estudos tenham sido aplicados em cidades diferentes, Cavalcante (2018) apoiando-se nas pesquisas supracitados, estudou a detecção dos eventos pluviais mais significativos (intensos e extremos) considerando os mesmos limiares acima, determinando 34 eventos pluviométricos acima de 60,0 mm/dia, com 3 enquadrados na categoria de eventos extremos (chuva acima dos 100,0 mm/dia) para o período 1994 a 2016 no município de Caldas Brandão-PB.

Costa *et al.* (2019) apresentam um estudo das características físicas e morfológicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) entre os anos de 2010 e 2011 sobre a região

Semiárida do Nordeste do Brasil, em situações de eventos de precipitação fraca (EPF) e intensa (EPI), identificando os eventos extremos, por meio da técnica dos quantis, obtendo resultados que mostraram que os EPI foram mais frequentes que EPF, principalmente no mês de março.

### 3.8.2 Índice de Anomalias de Chuva

Uma das formas de estudar a precipitação pluviométrica é por meio do Índice de Anomalias de Chuva (IAC), que ajudam a monitorar anos de seca e chuva excessiva e avaliar a intensidade e duração de períodos secos e úmidos. Esse índice permite realizar comparações do regime pluviométrico de determinado local, a partir de uma série de dados históricos com as condições atuais de chuva e também é utilizado para a caracterização da variabilidade espaço-temporal da precipitação na região de estudo (ARAÚJO *et al.*, 2007; MARCUZZO *et al.*, 2011; SANCHES *et al.*, 2014).

É uma importante ferramenta de análise das precipitações considerando-se sua simplicidade procedimental, os recursos computacionais e a determinação qualitativa de anomalias extremas (SANCHES *et al.*, 2014). O IAC foi escolhido para o desenvolvimento deste estudo por ser um índice bastante utilizado em diversos estudos de secas hidrológicas e meteorológicas na região tropical, tendo sido desenvolvido por Rooy (1965). O uso deste índice permite comparar o desvio da precipitação em relação à condição climatológica da região estudada, ou seja, comparar a precipitação de um lugar determinado com a média dos dez valores extremos de anomalias positivas e negativas de precipitação (SANTOS, 2012).

Uma das ferramentas que mais se destaca pela sua simplicidade é a utilização do Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) (SANCHES; VERDUM; FISCH, 2014). Outra vantagem é que, diferentemente de outros índices, ele necessita apenas de dados de precipitação e é de fácil estimativa. Sendo uma informação que contribui para estudos de verificação dos impactos do clima global sobre a vulnerabilidade da distribuição pluviométrica no planeta (ARAÚJO *et al.*, 2009).

Muitos pesquisadores têm utilizado o índice em estudos climáticos em diversas regiões, na comparação com outros índices e sua utilização (KEYANTASH e DRACUP, 2002; HÄNSEL e MATSCHULLAT, 2006; FREITAS, 1998; LOUKAS *et al.*, 2003; FREITAS, 2004; FREITAS, 2005; ASSIS *et al.*, 2015; ALVES *et al.*, 2015; NORONHA *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2018), muitos dos resultados mostraram uma alta correlação entre o

RAI e o Índice de Precipitação Padronizada (“Standardized Precipitation Index – SPI”). Ambos usam dados apenas de precipitação para obtenção dos seus cálculos.

De acordo com estudos feitos por Repelli *et al.* (1998), o índice desenvolvido por Rooy (1965) é apropriado para o monitoramento de regiões semiáridas devido a sua capacidade de fornecer informações sobre a ocorrência, gravidade e impacto da seca, além de possuir boa aplicação em regiões tropicais. Neste sentido, Marcuzzo; Melo e Rocha (2011), observaram a necessidade de mais estudos sobre a precipitação pluviométrica utilizando o IAC nos demais Estados e Regiões do Brasil, assim aplicaram o método em séries históricas de 30 anos de dados de precipitação (1977 a 2006) de 43 estações meteorológicas no Estado do Tocantins.

Gross e Cassel (2015), analisaram a frequência de índices de anomalia de chuva negativos para o Estado do Rio Grande do Sul, e com isso, definiram que o número de meses de ocorrência foi maior no setor Sudoeste, principalmente nas estações do verão, outono e inverno e na última década do período de análise e as menores frequências de índices de anomalia de chuva negativos estiveram nos municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre e adjacências.

Além da caracterização de períodos secos ou úmidos, o IAC pode ser uma ferramenta para o acompanhamento climático de uma localidade, podendo gerar prognósticos e diagnósticos da climatologia local (ARAÚJO *et al.*, 2007; ARAÚJO *et al.*, 2009).

Vários estudos como os de Alves *et al.* (2016) e Maniçoba *et al.* (2017), utilizam o IAC para determinação dos eventos extremos de chuva em diversos estados do NEB, destacando, dentre outros, o de Costa e Silva (2017) que analisou a distribuição espaço-temporal do IAC para o Estado do Ceará. A utilização do Índice de Anomalia Climática (IAC) tem se revelado importante para análise das precipitações pela sua simplicidade procedimental, os recursos computacionais e a determinação qualitativa de anomalias extremas (SANCHES *et al.*, 2014).

## 4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a cidade de João Pessoa, localizada na Paraíba, com latitude sul de 07°06'54'' e longitude oeste de 34°51'47''. Limita-se ao norte com o Município de Cabedelo, ao sul com o município do Conde, a leste com o Oceano Atlântico; e a oeste com os municípios de Bayeux e Santa Rita, respectivamente. De acordo com os dados disponibilizados no Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil (2017), a Capital ocupa uma área total de 211,50 km<sup>2</sup>, com IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) de aproximadamente 0,763, tendo uma densidade demográfica de 3.837,34 hab/km<sup>2</sup> e com uma população estimada de 811.598 habitantes distribuídas atualmente em 65 bairros, nas quatro zonas. (IBGE, 2017).

O município está integrado na Microrregião de João Pessoa juntamente com as cidades de: Bayeux e Santa Rita (com os quais se limita a Oeste), Cabedelo (com o qual se limita ao Norte), Conde (com o qual se limita ao Sul) e Lucena, ocupando uma área total de 1.270.730 km<sup>2</sup>, Figura 3. João Pessoa exerce forte influência sobre esses municípios vizinhos, pois, fornecem um grande contingente populacional que migram todos os dias para trabalhar e estudar na referida cidade, exercendo assim, uma migração pendular.

A cidade em estudo encontra-se na porção continental mais oriental das Américas, é capital do estado e a terceira cidade mais antiga do Brasil, fundada em 05 de agosto de 1585, com o nome de Nossa Senhora das Neves, passou a receber o nome atual apenas no ano 1930. Em 30 de dezembro de 2003, por meio da Lei Estadual nº. 59/03, e ampliada pela Lei Complementar Estadual 90/ 2009, se instituiu a sua Região Metropolitana, com doze municípios: Bayeux, Cabedelo, João Pessoa, Santa Rita (conurbados), Lucena, Cruz do Espírito Santo, Mamanguape, Rio Tinto, Alhandra, Pitimbu e Caaporã, ou seja, uma história de 435 anos.

João Pessoa nasceu às margens do Rio Sanhauá que está a oeste, com o tempo cresceu principalmente para leste, em direção ao mar. Por isso, possui um litoral com cerca de 25 km de praias que são banhadas pelo Oceano Atlântico, que exerce grande influência sobre o clima por meio de suas águas, em geral, quentes por causa da corrente oceânica conhecida como corrente do Brasil.

A região insere-se no contexto hidrográfico da Bacia do Atlântico Nordeste Oriental. Mais especificamente, ocupa porções de duas bacias hidrográficas: rio Gramame e rio Paraíba. A bacia do rio Gramame é muito importante por ser a principal responsável pelo abastecimento do conglomerado urbano formador da Grande João Pessoa, da expressiva população residente no seu espaço geográfico e das atividades supridas pelos seus recursos naturais (SEMARH, 2000).

Entre estas atividades, merece destaque o cultivo extensivo de cana-de-açúcar, a exploração de minerais não metálicos (principalmente areia e barro) e o abastecimento urbano, sendo a bacia responsável por 60% do suprimento de água dos municípios da Grande João Pessoa (SEMARH, 2000).

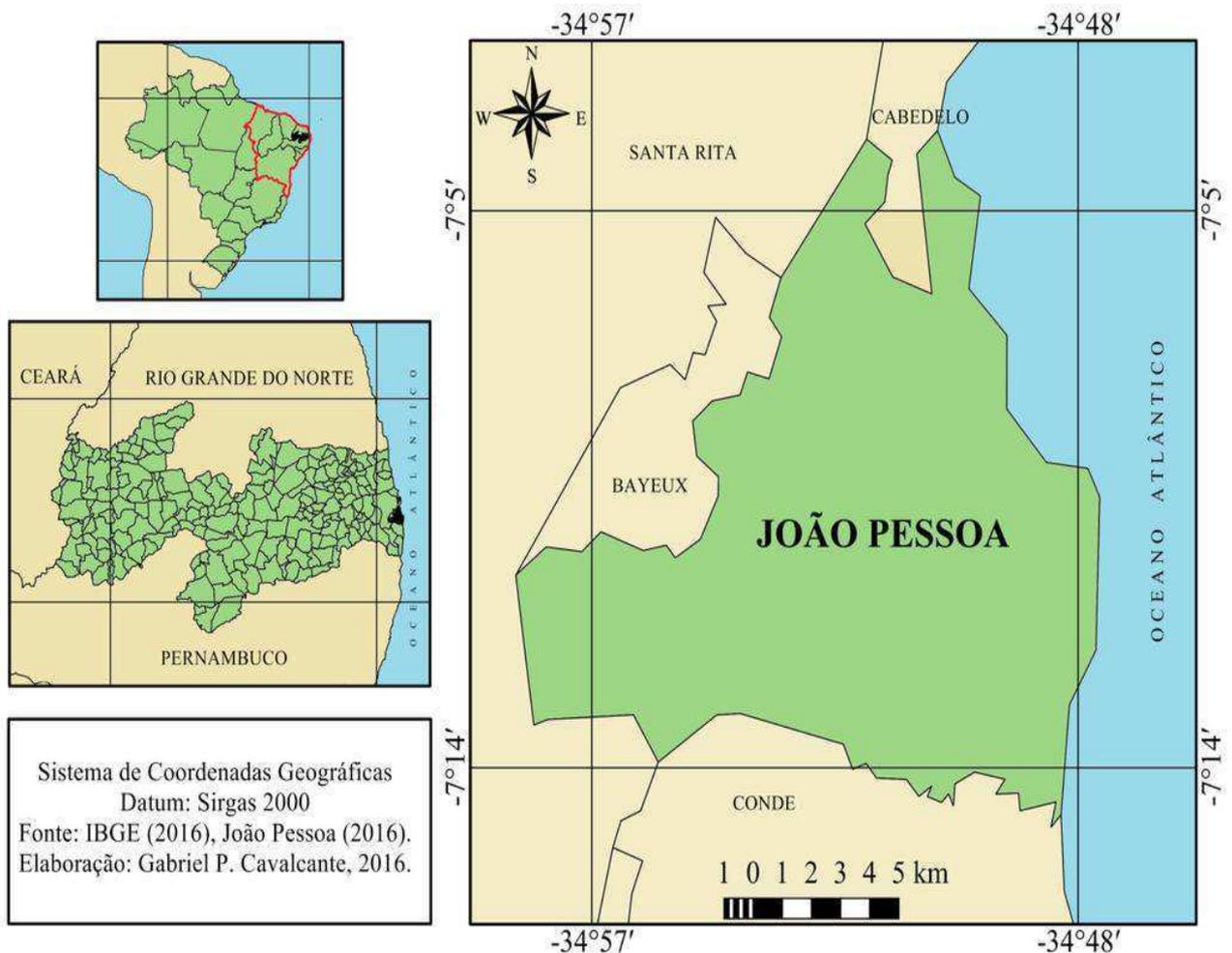


Figura 3 - Localização do município de João Pessoa- PB.  
Fonte: IBGE (2016), João Pessoa (2016). Elaboração: Gabriel de Paiva Cavalcante, 2016.

## 4.2 VEGETAÇÃO

O município está inserido na mesorregião da Mata Paraibana, esta nomenclatura deve-se ao fato de que originalmente, o bioma que a recobria era a Mata Atlântica, de maneira mais específica, formada por um tipo florestal denominado Mata dos Tabuleiros. Hoje em dia se limita a pequenas porções desta mata, que estão dentro de reservas ambientais espalhadas por toda essa região. A área é caracterizada pelo contato entre a Vegetação de Restinga e a Floresta Estacional Semidecidual, contudo, predominam componentes do segundo tipo (BARBOSA, 2006). João Pessoa preserva alguns resquícios de Mata Atlântica, um deles é a reserva Mata do Buraquinho, que possui cerca de 500 hectares de floresta e abriga o Jardim Botânico Benjamim Maranhão.

Para a preservação do bioma existe o Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica de João Pessoa coordenado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente, em parceria com a Fundação SOS Mata Atlântica, e com a colaboração da Secretaria de Planejamento e do COMAM (Conselho Municipal de Meio Ambiente), o qual surgiu da necessidade de elaborar e planejar estratégias de políticas públicas para a preservação do meio ambiente, a partir de um mapeamento macroespacial do município de João Pessoa, referente à sua situação atual de conservação e degradação ambientais.

O plano tem por objetivo construir um instrumento norteador das diretrizes ambientais para a gestão municipal, visando integrar projetos e ações em consonância com as leis e códigos ambientais vigentes, como é o caso da Lei da Mata Atlântica, 11.428/2006 e o Decreto nº 6.660/ 2008.

O atual processo de urbanização contribui para a perda de várias das suas características naturais. A cidade de João Pessoa teve um lento crescimento urbano, conforme apontado por Silva (1996), assim, algumas características naturais mantiveram-se por um tempo, mas, segundo Silva (2009), o quadro natural da área estudada vem passando por transformações ocasionadas pela sociedade, que intensificou o processo de uso e ocupação do litoral a partir da década de 1970, a autora coloca ainda que "a paisagem litorânea expressa as desigualdades na ocupação dos espaços na cidade, em virtude da valorização imobiliária das áreas de excelência paisagística" (SILVA, 2009, p.1).

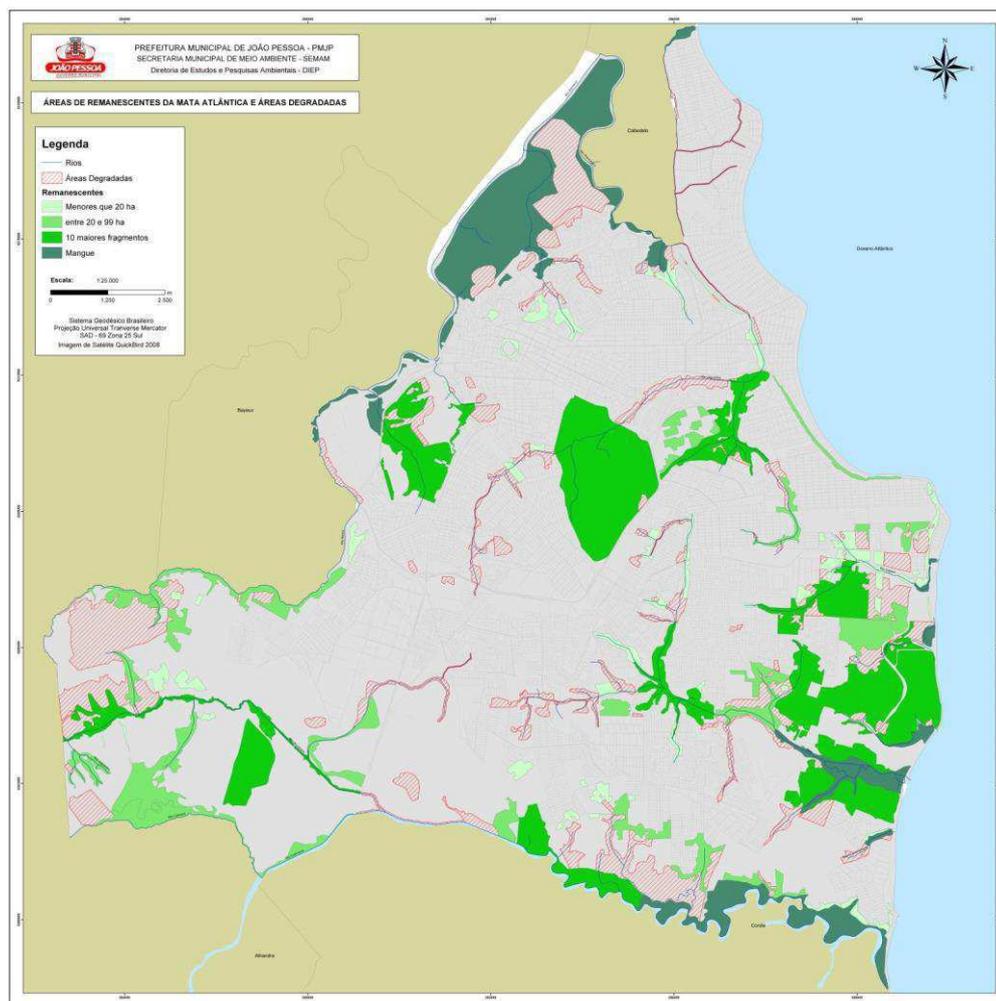


Figura 4 - Mapa dos Remanescentes da Mata Atlântica e Áreas Degradadas  
Fonte: SEMAM/PMJP, 2010.

### 4.3 SOLO

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA (1999, 2006), as classes de solos da área de João Pessoa são as seguintes: Argissolos, Neossolos, Espodossolos, Organossolos, Gleissolos e Alissolos, formando um mosaico de associações pedológicas. Os elementos possibilitaram a estruturação de uma rede de sistemas hidrográficos representada pelos rios Paraíba, Sanhauá, Jaguaribe, Cuiá, Gramame, Cabelo, Aratu, Jacarapé e Mumbaba, além de outras sub-bacias. Com exceção dos rios Paraíba, Gramame e Mumbaba, todos os demais estão inseridos no espaço urbano municipal.

Sobre os aspectos pedológicos, a partir da análise do Mapa Pedológico do Estado da Paraíba (2004), apresentado na Figura 5, observa-se que a superfície sólida da cidade de João

Pessoa é composta, principalmente, pelos solos Podzólico Vermelho-Amarelo, Areias Quartzosas Marinhas, Solos Aluviais, Solos Indiscriminados de Mangue, Latosol Vermelho-Amarelo, Podzol Hidromórfico e Solos Gley. Sendo os três primeiros solos citados os de maior ocorrência, correspondendo respectivamente aos solos argilosos, arenosos e aluviais, em geral, encontrados ao decorrer dos taludes ou nas margens dos rios que os rodeiam.

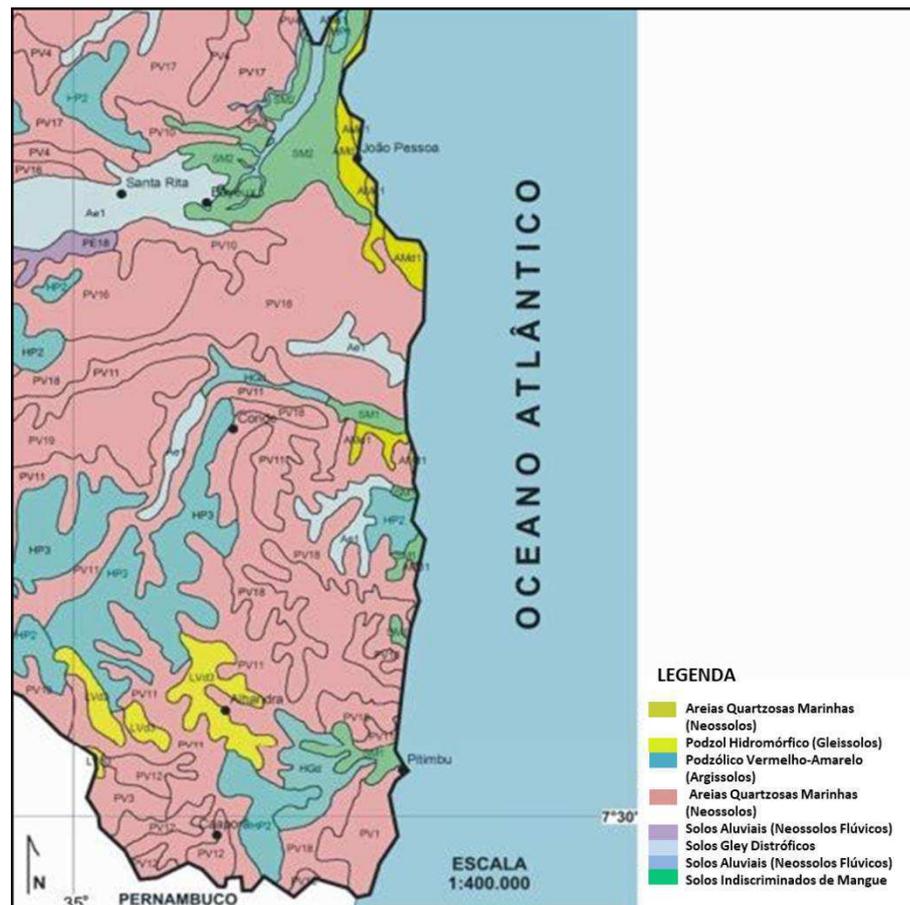


Figura 5 - Mapa Pedológico da área de estudo e adjacências.

Fonte: FURRIER, 2007 (modificado de PARAÍBA, 2004) adaptado.

Em relação à geomorfologia, o sítio urbano situa-se sobre os baixos tabuleiros costeiros e a baixada litorânea, ou seja, planície costeira, onde predominam os sedimentos do Quaternário, o qual segundo Carvalho (1982), se formou por meio de processos marinhos, flúvio-marinhos e eólicos. As feições morfológicas permitem que a cidade apresente um relevo com poucas elevações.

O solo em ambientes urbanos é um elemento bastante afetado pelo acelerado ritmo da urbanização das grandes cidades, devido ao crescente e desordenado processo de crescimento da populacional. Essa condição contribui para o aumento de alagamentos e, com isso,

umentam a retirada da cobertura natural do solo, que leva a uma variação do escoamento superficial e a uma perda significativa do poder de infiltração de água no solo, gerando diversos danos ao meio ambiente, mas também a sociedade, o solo está cada vez mais impermeabilizado e a malha urbana maior (TUCCI, 1997; SOUZA, AZEVEDO, ARAÚJO, 2012; SANTOS NETO, 2014; GOUVEA *et al.*, 2018; SANTOS, 2019).os riscos, sobretudo, para as populações que residem em áreas que apresentam maior vulnerabilidade socioambiental.

#### 4.4 CLIMA

A circulação atmosférica atuante sobre as cidades é resultado do dinamismo atmosférico superior, que se configura a circulação global. Os processos físicos dinâmicos dessa atmosfera superior estabelecem, influenciam e controlam os centros de ação, os quais determinam o comportamento da atmosfera em nível de grandeza inferior.

Mendonça e Danni-Oliveira (2007), destacam a importância de se conhecer a influência dos centros e das massas de ar para o conhecimento do clima de um determinado local, pois:

Para o conhecimento do clima de uma determinada área, faz-se necessário a identificação dos controles climáticos a que ela está submetida, pois um clima particular (escala local e/ou microclimática, dada via circulação terciária) é definido por aspectos de primeira grandeza (escala zonal, macroclimática, dada via de circulação primária) e de segunda grandeza (escala regional, mesoclimática, via circulação secundária) (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007, p.83)

Devido à sua localização geográfica (no paralelo 7°S e 34°W de longitude), os sistemas atmosféricos que agem em João Pessoa, promovem estabilidade atmosférica no final do inverno, no período da primavera e início do verão, causando instabilidade no período sazonal da última metade do verão, outono e início do inverno.

Localizada próxima a linha do Equador, ela recebe uma radiação solar próxima das 3000 horas anuais. O que acaba por determinar um clima quente, caracterizado por uma temperatura média anual de 26°C. Contudo, diante da localização em zona costeira, a nebulosidade alcança níveis acima de 6/10 do céu, provocando índices pluviométricos variando entre 2.000 a 2.400mm ao ano (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 1985).

Segundo a classificação bioclimática de W. Köppen (1884), a cidade de João Pessoa encontra-se na faixa climática As' e bioclima 3dth - Mediterrâneo ou Nordestino Sub-seco (Figura 6). A faixa climática As', descrita como Clima Quente e Úmido (Tropical chuvosa – classe A), é caracterizada por apresentar chuvas de outono, com média térmica anual acima dos 20°C e amplitude térmica anual em torno de 5°C.

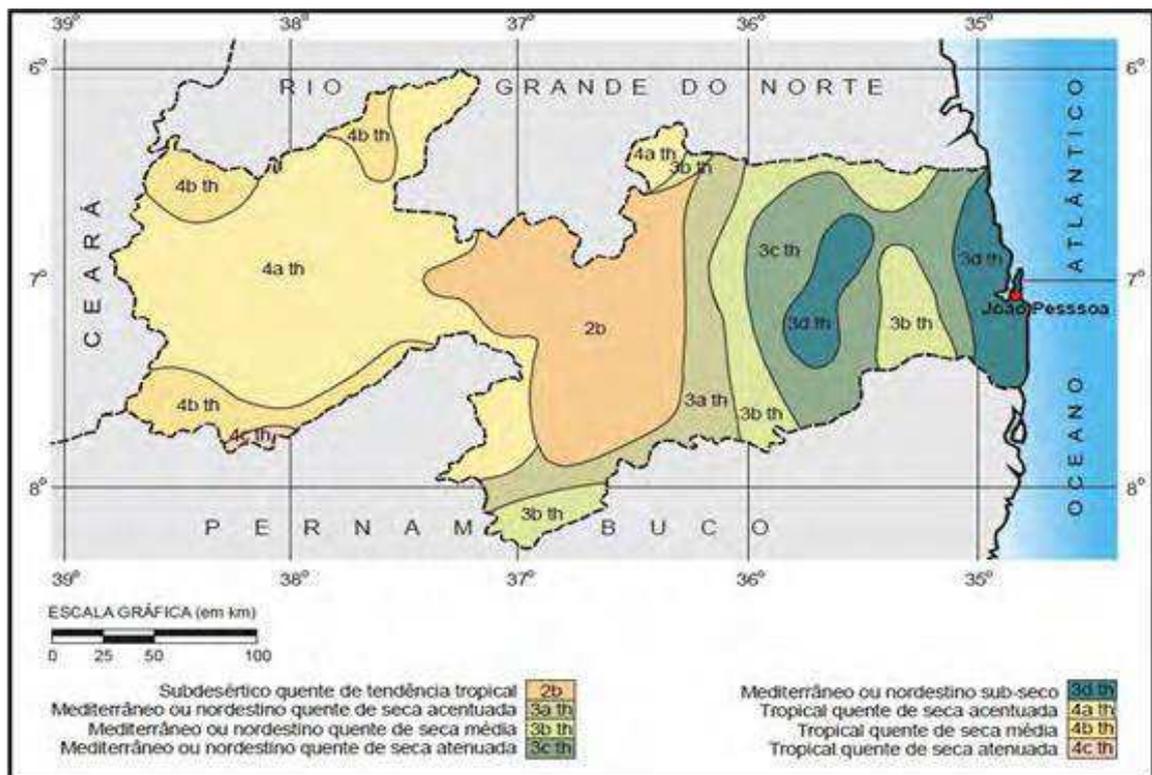


Figura 6 - Regiões Bioclimáticas segundo a classificação de Köppen.

Fonte: ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA (1985)

Os sistemas atmosféricos atuantes na cidade de João Pessoa são oriundos do Oceano Atlântico e dão origem a um tipo climático particular nessa porção do Brasil, classificado por Mendonça e Danni-Oliveira (2007) como sendo o Clima Tropical Litorâneo do Nordeste Oriental, que se caracteriza como clima úmido e quente, o qual se diferencia dos climas mais secos do interior da região.

Ressalta-se que, o município de João Pessoa é marcado por dois regimes climáticos, condicionados pelos sistemas atmosféricos citados acima. Esses sistemas são de escala zonal e de níveis regionais, atuam em toda a dinâmica atmosférica na região, caracterizando a variabilidade das chuvas e o gradiente hidrotérmico da cidade.

O primeiro regime é o período chuvoso, correspondendo à parte do verão, o outono e início do inverno, totalizando um conjunto de sete meses com os maiores totais pluviométricos,

sendo os meses de abril a julho os mais representativos nas normas climatológicas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

O regime exposto é dividido por Silva (2007) em duas épocas distintas, a pré-estação chuvosa, que corresponde aos três primeiros meses chuvosos do período (Fevereiro - Abril) e a quadra chuvosa que são os quatro meses restantes (Maio-Agosto). Já o segundo regime, é período seco, que apresenta baixos índices pluviométricos, equivalente ao final do inverno, abarcando todo o período sazonal da primavera e início do verão (Setembro - Janeiro). As precipitações para esses meses divididos em períodos podem ser observadas através dos acumulados de precipitação disponibilizados pela AESA.

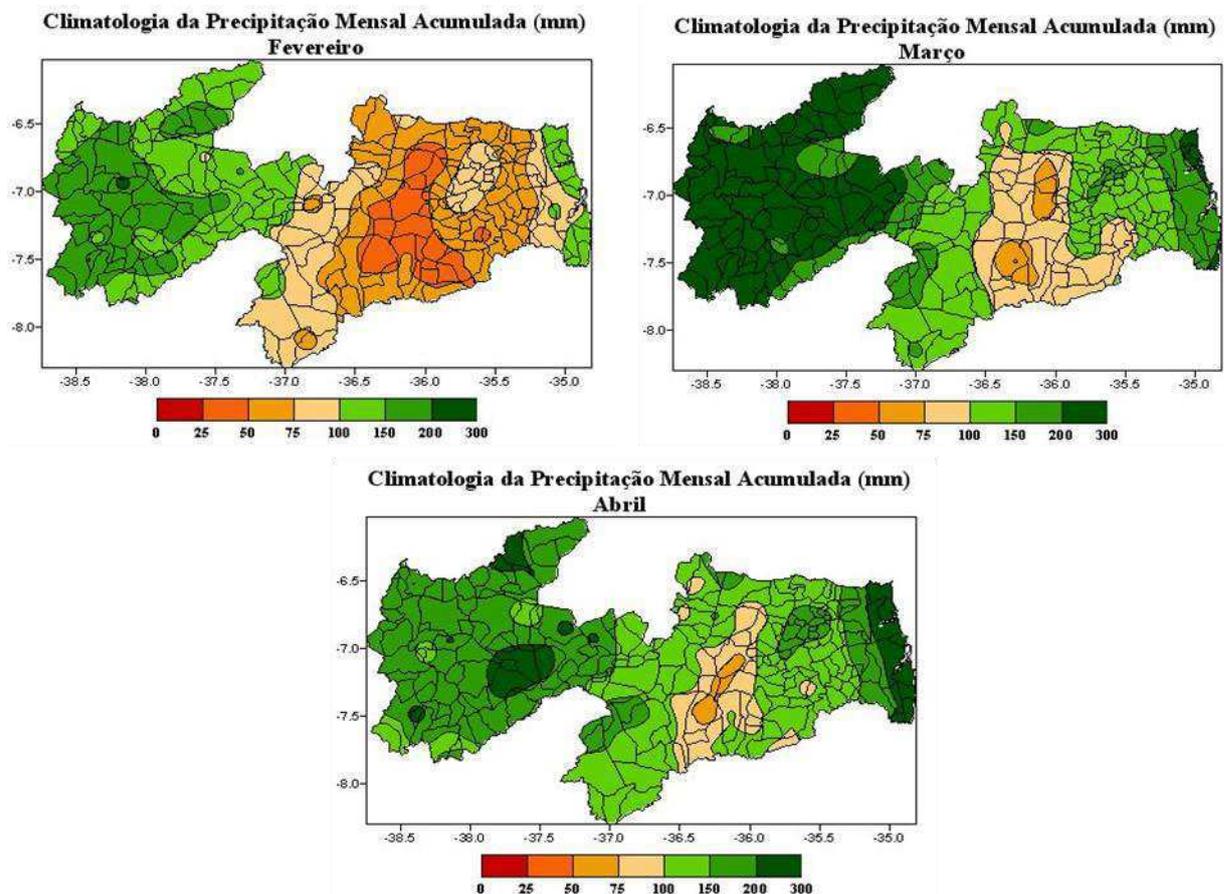


Figura 7 - Distribuição da Precipitação mensal acumulada para Pré-estação Chuvosa.  
Fonte: AESA, 2020.

No mapa da Climatologia da Paraíba destaca-se o município de João Pessoa no qual ocorre um aumento gradual do volume precipitado mensalmente para a cidade, variando de uma média mensal 150 mm em fevereiro até 300 mm no mês de abril, caracterizando meses de transição de um período seco com totais mensais mínimos para o período chuvoso da localidade, o qual é responsável por grande parte da precipitação total anual.

É possível identificar através da Figura 5, os meses que de acordo com Silva (2007) representam o período chuvoso, os meses de maio a junho com totais mensais acima de 200 mm e agosto com uma redução gradativa da precipitação, pois ele antecede o período seco.

Outros autores como Medeiros (2015) constataram que, as máximas médias mensais estão presentes no quadrimestre de abril a julho, com precipitações médias mensais que variam 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 de João Pessoa- PB. Alguns autores também notaram esses meses como o quadrimestre chuvoso de regiões localizadas no litoral leste do Nordeste (BARRETO e MEDEIROS, 2013; BARRETO *et al.*, 2008; RAO *et al.*, 1993).

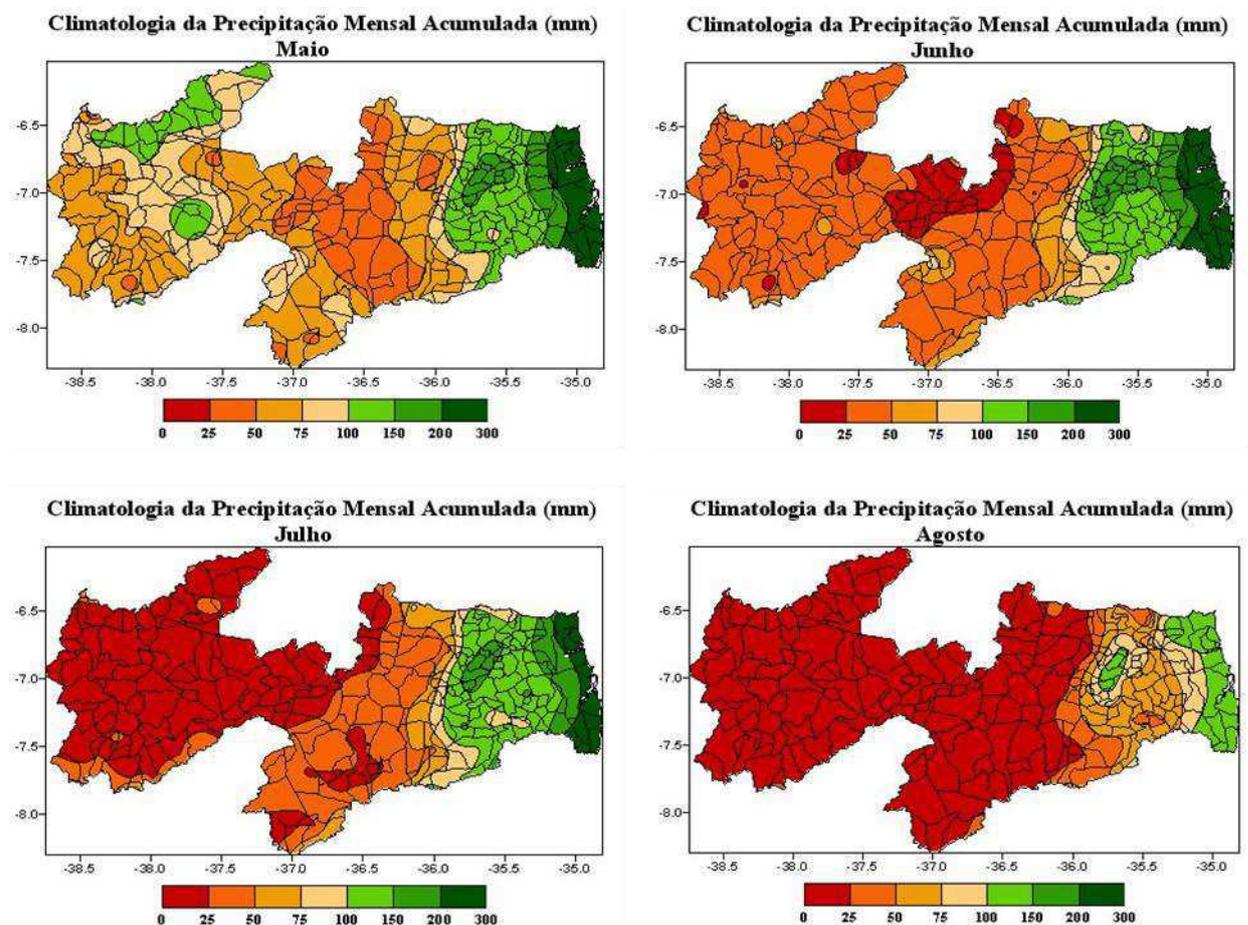


Figura 8 - Distribuição da Precipitação mensal acumulada para Quadra Chuvosa  
Fonte: AESA, 2020.

O segundo semestre foi caracterizado por Silva (2007) como período seco da cidade, com baixas médias mensais, uma diminuição gradual de setembro a dezembro, retomando o aumento da precipitação no mês de janeiro com variações 75 a 100 mm.

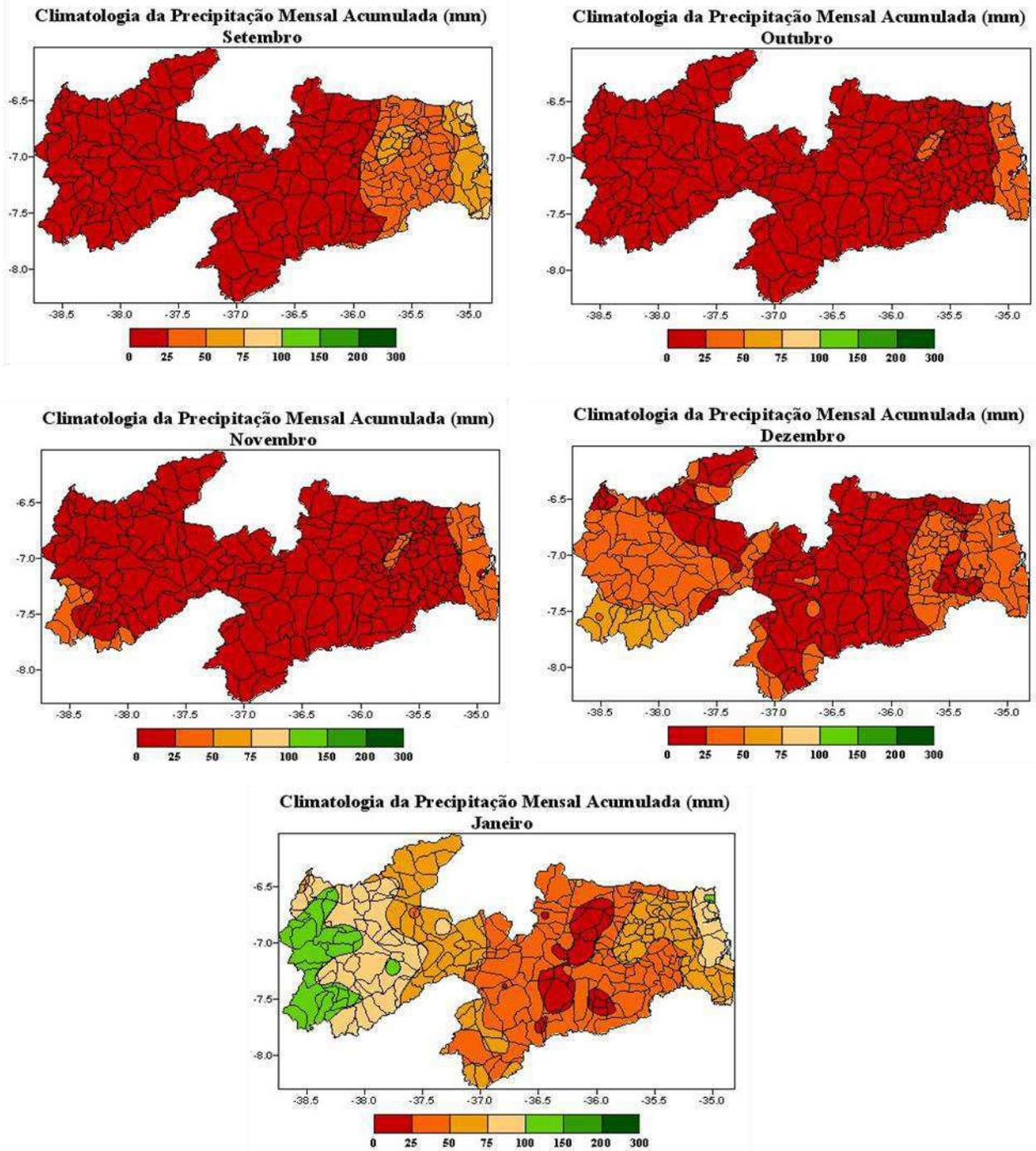
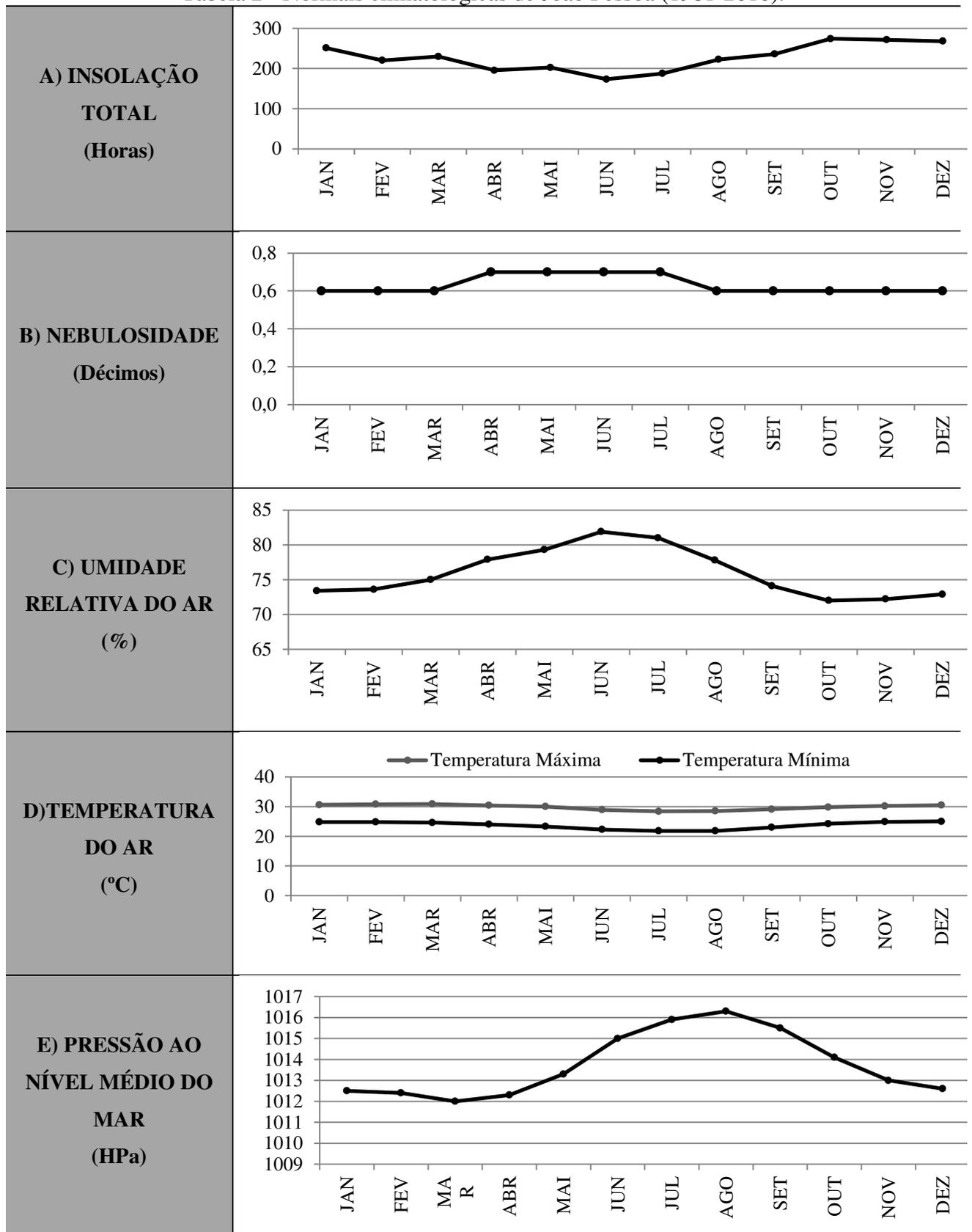
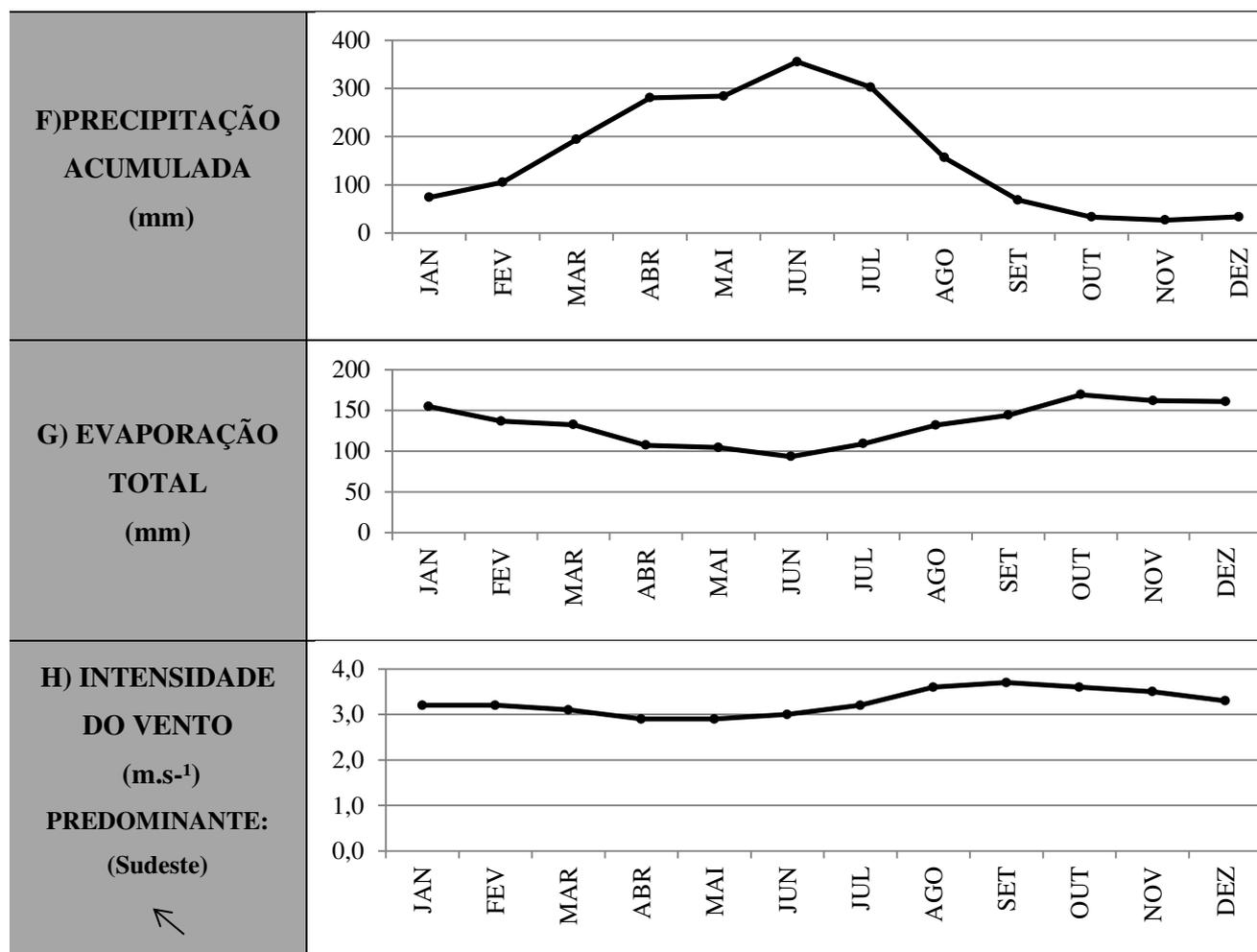


Figura 9 - Distribuição da Precipitação mensal acumulada para do Período Seco.  
Fonte: AESA, 2020.

Para que possamos ter um melhor entendimento das características climáticas de João Pessoa, abaixo se estabelece uma análise das normais meteorológicas do período de 1981 - 2010 da estação meteorológica do INMET em João Pessoa. A Tabela 2 exibe a síntese mensal de nove parâmetros meteorológicos, revelando bem os dois regimes climáticos presentes no município estudado.

Tabela 2 - Normais climatológicas de João Pessoa (1981-2010).





Fonte: INMET. Organização: Shayenny Alves de Medeiros.

Para João Pessoa os valores normais de insolação estão na Tabela 2-A, esta variável representa o número de horas nas quais, durante o dia o disco solar é visível para um observador situado à superfície terrestre expressando assim, a quantidade de brilho solar sobre um determinado local, em suma, é o intervalo total de tempo (entre o nascimento e o pôr do sol) em que o disco solar não esteve oculto por nuvens ou fenômenos atmosféricos de qualquer natureza.

O valor anual normal para João Pessoa é 2731 horas e seus valores extremos estão distribuídos durante a primavera (outubro, novembro e dezembro) correspondendo ao regime seco da cidade, chegando a atingir uma quantidade de insolação de 274,1; 271,3 e 267,8 horas/mês, respectivamente. Já as menores taxas de insolação aparecem nos meses que correspondem ao período de outono e inverno da cidade, constituindo, portanto, parte do quadrimestre chuvoso, que são os meses de abril, maio, junho e julho, com 195,3; 202,4; 173,2 e 187,6 horas/mês. Pode-se destacar ainda, que seu comportamento é proporcional ao

da nebulosidade, justificando assim, as maiores quantidades de insolação durante a primavera e menores durante o outono/inverno.

A nebulosidade (Tabela 2 - B) possui para cidade de João Pessoa uma normal histórica de 0,6 décimos. Ela se apresenta proporcional ao comportamento da umidade e precipitação, sendo inversamente proporcional aos índices de insolação, visto que, os meses de maior insolação, são os meses de menor nebulosidade. As maiores taxas de nebulosidade se deram de abril a julho (quadra chuvosa) com a taxa sempre próxima de 0,7 décimos, enquanto que as menores taxas (0,6 décimos) na primavera, que corresponde ao período seco em João Pessoa, as quais ocorreram similarmente nos meses de janeiro a março e de agosto dezembro.

A Tabela 2- C representa a variação da umidade do ar, onde se pode constatar que durante o ano todo, as taxas de umidade permanecem sempre elevadas (acima de 72%), a maritimidade justifica este valor sempre alto, devido João Pessoa se situar em uma faixa litorânea com proximidade do oceano atlântico, possuindo a normal anual de 75,9%.

Destaca-se que, os valores mais elevados acontecem no período corresponde ao regime chuvoso, que abrange o fim do verão, outono e início do inverno nos meses de março a julho, destes, junho é o mais úmido (81,9%). As menores taxas de umidade transcorrem nos meses de outubro, novembro e dezembro com 72, 72,2 e 72,9% respectivamente, durante o regime seco, os baixos valores correspondem ao período de maior nível de insolação e baixa nebulosidade, como citado acima.

Os extremos de temperatura do ar estão representados na Tabela 2-D, as máximas e as mínimas apresentam índices elevados para todo o ano, por causa da cidade está localizada em baixa latitude. A redução dos valores da temperatura se dá a partir de março devido ao início do Outono, explica-se ainda esta queda ao aumento da pluviosidade que aumentará ao fim da pré-estação chuvosa e início do quadrimestre chuvoso, conseqüentemente, coincide com os meses de menores índices de temperatura do ar. A temperatura retorna a subir em setembro, a partir da chegada do regime seco da cidade.

As variações dos extremos máximos e mínimos de temperatura, ao longo do ano expressam bem a sazonalidade do verão e inverno. A normal anual da temperatura mínima é de 23,7 °C, com a maior temperatura no mês que possui um dos menores índices de precipitação e maiores índices de evaporação, que é dezembro com 25 °C, diferente dele o mês de junho registrou a menor temperatura com 21,8 °C. Para a temperatura máxima a normal anual corresponde a 29,8°C, o mês de julho apresentando a menor temperatura (28,4°C), e em março a máxima deste parâmetro com 30,9°C. A temperatura mínima do ar

apresenta os menores valores em julho e agosto, com as mesmas temperaturas, 21,8°C, e os maiores em dezembro com 25°C, e normal anual de 23,7°C.

A pressão do ar (Tabela 2- E) apresenta a normal anual de 1013,7 hPa, as médias mais elevadas são registradas nos meses de junho a setembro, com destaque para julho e agosto, agosto com 1016,3 hPa, meses que correspondem ao inverno, a alta no campo de pressão pode ser explicada devido à atuação mais expressiva da Massa Tropical Atlântica (MTA) já que é neste período de inverno que o centro de ação se intensifica.

Já as menores médias foram registradas entre os meses de janeiro a maio, variando de 1012,5 a 1013,3 hPa, abril apresenta a menor média de 1012 hPa, estes meses correspondem a pré-estação chuvosa e início do quadrimestre chuvoso da capital. Ressalta-se que, durante os meses de janeiro a abril, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) atua sobre o nordeste brasileiro provocando queda na pressão atmosférica e chuvas, no mesmo momento em que esses meses apresentam valores gradativamente mais elevados de umidade, queda gradativa na taxa de insolação e considerável nebulosidade.

Na Tabela 2- F, a normal histórica da precipitação no município de João Pessoa para os anos de 1981 a 2010 é de 1914,0mm também as maiores pluviosidades para a cidade, que correspondem aos meses de abril (280,4mm), maio (284,0mm), junho (355,2mm) e julho (302,4mm), os quais caracterizam o quadrimestre chuvoso, que representa 63,84% da precipitação anual.

Os meses com menores registros, considerados o trimestre seco são: outubro (33,1mm), novembro (27,0mm) e dezembro (33,7mm), representando apenas 4,9% da pluviometria para a série. Os primeiros seis meses da série em estudo possuem a maior parte da pluviometria da série com um total precipitado de 1292,8 mm (67,54%) e o segundo semestre com 621,2 mm registrados (32,46%).

A evaporação é o processo natural pelo qual a água de uma superfície livre (líquida) ou de uma superfície úmida, passa para a atmosfera na forma de vapor, e é uma variável dependente somente dos fatores meteorológicos e ambientais, principalmente a radiação solar, umidade do ar, temperatura e o vento.

A Tabela 2- G permite observar o comportamento desse parâmetro, e é evidente que durante os meses de janeiro a julho, os índices evaporação tendem a reduzir aos poucos, essa diminuição da evaporação durante os primeiros meses se dá pela pré-estação chuvosa juntamente como aumento da nebulosidade, precipitação e umidade, bem como a queda nos índices de radiação, como resultado a evaporação apresentará os menores valores na quadra chuvosa de João Pessoa, que acontece nos meses de abril (107,2 mm), maio (104,4 mm),

junho (93,3 mm) e julho (109,0 mm), os quais detêm maiores índices pluviométricos e de nebulosidade, bem como a grande parte do inverno, que apresenta os menores índices de radiação e insolação (principais responsáveis pela evaporação). Nas normais, os meses que apresentam os maiores valores de evaporação correspondem ao trimestre seco da cidade, que são os meses: outubro, novembro e dezembro com os índices de 169,1, 161,8 e 160,8 mm evaporados, respectivamente.

A Intensidade do vento e sua direção podem ser observadas na Tabela 2- H, destacando que a normal mensal é de 3,3 m/s para João Pessoa. A velocidade apresenta os menores índices nos meses de abril a junho variando de 2,9 a 3,2 m.s<sup>-1</sup>, esses meses correspondem ao período com os maiores registros de umidade do ar, nebulosidade e precipitação, enquanto que os meses com maiores velocidades do vento, os quais possuem índices acima da média são: agosto (3,6 m.s<sup>-1</sup>), setembro (3,7 m.s<sup>-1</sup>) e outubro (3,6 m.s<sup>-1</sup>), correspondem ao início do período seco, que apresenta os maiores valores de evaporação e insolação e precipitações reduzidas.

Em relação à direção do vento, ela apresenta o sentido sudeste dominante durante todo o ano, este fato pode ser explicado pela sua localização geográfica da cidade, pois, por estar localizada na faixa litorânea leste do Nordeste, e encontrar-se na planície litorânea, logo a direção dos ventos não sofre interferências das variações do relevo.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS CLIMÁTICOS

No estudo climatológico de João Pessoa os dados pluviométricos foram disponibilizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas (AES/A) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de 1991 a 2020. Eles serão tomados como base, além dos dados pluviométricos horários, diários, mensais e anuais, dados de ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, retirados do banco de dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), e das Cartas Sinóticas adquiridas no CPTEC traçadas pela equipe de profissionais do INPE, as cartas correspondem a um “retrato” da atmosfera nos dias de eventos extremos de precipitação, bem como informações disponibilizadas pela Defesa Civil de João Pessoa e pelo Jornal A União e o Note.

### 5.2 ANÁLISE ANUAL

#### 5.2.1 Técnica dos Quantis

Para caracterizar a frequência e a intensidade dos eventos extremos de chuva 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. Ao dividir a série em três partes, por exemplo, se tem 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  $n$  representa o tamanho da amostra.

Quadro 1 - Intervalos de classe para categorização da precipitação.

Classes de Precipitação		
Muito Seco	“MS”	quando $xi \leq P_{0,15}$
Seco	“S”	quando $P_{0,15} < xi \leq P_{0,35}$
Normal	“N”	quando $P_{0,35} < xi < P_{0,65}$
Chuvoso	“C”	quando $P_{0,65} \leq xi < P_{0,85}$
Muito chuvoso	“MC”	quando $xi \geq P_{0,85}$

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

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/>). Na Tabela 3 percebe-se como 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).

Tabela 3 - Ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña para o período de 1991-2020, de intensidades: Forte (F), Moderado (M) e Fraco (FR). (Fonte: Adaptado do CPTEC).

OCORRÊNCIA DE EL NIÑO	OCORRÊNCIA DE LA NIÑA
1990-1993 (F)	1995-1996 (FR)
1994-1995 (M)	1998-2001 (M)
1997-1998 (F)	2007-2008 (F)
2002-2003 (M)	2010-2011 (M)
2004-2005 (M)	2017- 2018 (M)
2006-2007 (M)	-
2009-2010 (M)	-
2015-2016 (F)	-
<b>Total: 8 Eventos</b>	<b>Total: 5 Eventos</b>

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

### 5.3 ANÁLISE MENSAL

#### 5.3.1 Média Mensal Climatológica

Para estudar a variabilidade mensal da precipitação e identificar os desvios em relação à climatologia, a princípio, foram necessários os totais mensais de precipitação ( $x_i$ ) para cada ano, para então calcular a Média Mensal Climatológica ( $\mu_i$ ) da série:

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

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

#### 5.3.2 Desvio Padrão Mensal

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

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

#### 5.3.3 Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

Os dados pluviométricos mensais foram disponibilizados pela AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba) e utilizados para o cálculo do Índice de Anomalia de Chuva (IAC), desenvolvido por Rooy (1965) e as equações adaptadas por Freitas (2005) e readaptadas por Araújo *et al.* (2009).

A intensidade e duração dos períodos secos e úmidos foram avaliados com base nesse Índice que é usado por muitos pesquisadores (KEYANTASH e DRACUP, 2002, HÄNSEL e MATSCHULLAT, 2006) em estudos de secas. Os valores do índice (IAC) se deram a partir das seguintes equações:

As equações 3 e 4 dispostas a seguir são para a aplicação do IAC:

$$\text{IAC} = 3 \left[ \frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right]: \text{Para anomalias positivas } (N > \bar{N}) \quad (3)$$

$$\text{IAC} = -3 \left[ \frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right]: \text{Para anomalias negativas } (N < \bar{N}) \quad (4)$$

Sendo:

$N$  = precipitação mensal atual (mm);

$\bar{N}$  = precipitação média mensal da série histórica (mm);

$\bar{M}$  = médias das **dez maiores** precipitações mensais da série histórica (mm);

$\bar{X}$  = média das **dez menores** precipitações mensais da série histórica (mm).

A partir dos dados pluviométricos adquiridos de João Pessoa, dispostos através de uma série histórica de 30 anos, para estudos climatológicos é considerada uma série curta, entretanto, de acordo com Santos *et al.* (2011) isso permite formular hipóteses sobre tendências de aumento ou redução das chuvas em condições atmosféricas extremas.

Conforme os autores, para a aplicação do IAC é recomendável à utilização de séries históricas com pelo menos 30 anos de dados. Sendo assim, caso a série possua menos de 30 anos faz-se necessária uma adaptação na quantidade de médias a serem utilizadas no cálculo do IAC, de forma que seja proporcional a quantidade de dados. Neste caso, em uma série de 30 anos se deve calcular as dez maiores e dez menores precipitações totais mensais do período analisado. Desse modo, depois de realizado o cálculo, os valores serão classificados de acordo com o seu grau de intensidade na

Tabela 4 adaptada por (ARAÚJO *et al.*, 2009).

Tabela 4 - Classe de intensidade do índice de anomalia de chuva. Índice de Anomalia de Chuva (IAC).

	FAIXA DO IAC	CLASSES DE INTENSIDADE
	$\geq 4$	Umidade extremamente alta
	3 a 3,99	Umidade alta
	2 a 2,99	Umidade moderada
Índice de anomalia de chuva (IAC)	0,00 a 1,99	Umidade baixa
	-1,99 a 0,00	Seca suave
	-2,00 a -2,99	Seca moderada
	-3,00 a -3,99	Seca alta
	$\leq -4$	Seca extremamente alta

Fonte: Adaptado de Freitas (2004, 2005); Araújo *et al.* (2007).

## 5.4 ANÁLISE DIÁRIA

Para caracterizar a frequência e a intensidade dos eventos extremos de chuva em João Pessoa, utilizou-se a Técnica dos Quantis descrita no tópico 5.2.1, da mesma maneira que foi aplicada para os anos, foi aplicado aos dados diários de chuva o Método do Percentil. Neste

trabalho é considerado o Percentil de 0,97 para determinar o índice de precipitação extrema, que é realizado da maneira a seguir.

Considere a notação  $P_{[(n)x(p)]+}$ ,  $n$  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 e da observação seguinte.

A partir da definição da precipitação extrema e os dias de eventos, foram selecionados episódios das chuvas mais intensas que ocorreram na cidade de João Pessoa no período de estudo, pois acredita – se que as precipitações diárias a partir do valor determinado através do  $P_{0,97}$  são as que também causam maiores impactos na capital paraibana, e para a compreensão do que influenciou na gênese dessas chuvas foi necessária a utilização das Cartas Sinóticas disponibilizadas pelo CPTEC-INPE.

As Cartas Sinóticas de Pressão também são denominadas “Mapas de Superfície”, que retratam a atmosfera sobre uma determinada área de abrangência em um dado momento, através das representações gráficas dos dados meteorológicos coletados em uma Estação Meteorológica de Superfície (EMS), em um mesmo horário, 1200 horas do Meridiano de Greenwich (HMG), sendo este horário uma convenção mundial.

Em função dos dados de pressão atmosférica plotados nas Cartas Sinóticas são traçadas (com intervalo de 3 ou 4 hPa) as linhas que unem os mesmos valores de pressão. Elas são denominadas isóbaras e através delas as áreas de alta pressão (anticiclones) e de baixa pressão (baixas ou ciclones) são determinadas. Também são identificadas as frentes frias e quentes e as zonas onde se estão produzindo chuvas, tormentas, nevoeiros etc.

Em relação aos impactos negativos gerados pelas chuvas intensas, realizou-se uma pesquisa documental, através dos jornais de circulação da cidade, e busca por informações disponibilizadas pela COMPDEC-JP, para relatar alguns impactos de maneira geral. As notícias foram insuficientes para quantificar precisamente cada consequência socioeconômica gerada pelos eventos extremos, devido às essas limitações, as discussões de alguns episódios se deram de forma geral.

## 5.5 ANÁLISE HORÁRIA

No Brasil, a principal fonte de dados horários é o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, com um total de 582 EMA's espalhadas em todo território nacional (INMET, 2019).

É importante destacar que, as opções de coletas de dados climáticos horários ocorrem por meio de pluviogramas das Estações Meteorológicas Convencionais – EMC ou da coleta automática da EMA.

Apesar do pouco tempo de atuação, considera-se a EMA um importante meio para obtenção dos dados a serem utilizados em trabalhos climatológicos. Para essa pesquisa foi utilizado dados da EMA- A320, localizada na cidade de estudo, sua atuação teve início no dia 20/07/2007.

Antes de iniciar o detalhamento dessa parte, é importante ressaltar a escala temporal utilizada. Ao saber da dificuldade, anteriormente comentada, da coleta de dados para pesquisas em Climatologia, entende-se que para caracterização climática de uma região, são necessários pelo menos 30 anos de informações (AGUIAR, 2015).

Quadro 2 - Início da disponibilidade dos dados para cada estação automática do INMET, localizada no município de João Pessoa- PB, 2007-2020.

<b>Estação Automática</b>	<b>Período de Dados</b>	<b>Total de Anos</b>
JOÃO PESSOA	20/07/2007 a 31/12/2020	14

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

### 5.5.1 Tratamento dos Dados

O Banco de Dados Meteorológicos do INMET possibilitou a busca dos dados de precipitação, disponíveis de hora em hora. De posse dos dados, iniciou-se uma triagem dos mesmos a fim de verificar aqueles faltosos ou falhos (representados pelo NULL, no arquivo original) pois devem ser descartados.

Ressalta-se que, foram utilizados dados a partir de 0,2 mm/hora, uma vez que, não foram apresentados registros de 0,1 mm/hora. Para facilitar a contagem dos dados, foi elaborado primeiramente um quadro ( Tabela 5) com a quantidade máxima de registros de dados para cada mês, partindo do princípio de que em um dia se tem 24 possíveis eventos de chuva.

Tabela 5 - Quantidade máxima de registros horários por quantidade de dias em cada mês do ano.

<b>Quantidade máxima de registros horários por quantidade de dias</b>	
28 dias	672
29 dias	696

30 dias	720
31 dias	744

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

Destaca-se que, excluindo as falhas e os dados de 0,0 mm/hora, foi possível utilizar o quantitativo da estação automática, como demonstrado no Quadro 3. É importante dizer que não há explicação para as falhas das estações por parte do INMET, podendo ser o período de calibração da estação, a quebra do instrumento ou outros.

Quadro 3 - Quantidade de dados utilizados, a partir de 0,2 mm/hr.

<b>QUANTIDADE DE DADOS</b>		
<b>Estação Automática</b>	<b>A partir de 0,2 mm/hr</b>	<b>Total Precipitado (mm)</b>
João Pessoa	9616	20165,6

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

Após o tratamento e tendo os dados representados em intervalos de hora em hora, foram utilizadas técnicas estatísticas a fim de se obter os valores máximos de precipitação horária, sua frequência e as características mensais e sazonais.

### 5.5.2 Análise de Frequência

Foi realizada a frequência absoluta dos eventos de precipitação ocorridos em cada hora do dia. Posterior a isso, se calculou a Frequência Relativa (FR), através da expressão 1 abaixo:

$$FR (\%) = \frac{F(h)}{F(24)} \times 100 \quad (5)$$

Sendo:

FR: frequência relativa, em %;

F(h): número de eventos de precipitação em intervalos horários;

F(24): número de eventos nas 24 horas do dia.

Na análise da distribuição da frequência, as chuvas para o município se deu pela frequência quanto aos seus maiores e menores períodos de ocorrência, isto para intervalos de seis horas, divididos e classificados como descrito a seguir:

Tabela 6 - Distribuição do Período de ocorrências.

PERÍODOS DE OCORRÊNCIA	ÍNICIO	FINAL
MADRUGADA	00h00min	05h00min
MANHÃ	06h00min	11h00min
TARDE	12h00min	17h00min
NOITE	18h00min	23h00min

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

### 5.5.3 Classificação da Chuva Horária

Para esta etapa definiu-se a intensidade (em  $\text{mm.h}^{-1}$ ) das ocorrências de chuva, utilizando o critério proposto por Mendes (2013), adaptado por Araújo (2019) para uma maior aproximação da realidade climática da localidade em estudo realizaram-se adaptações que possibilitaram isso, definindo quatro níveis: fraca, moderada, forte, muito forte observa-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Critério de classificação da intensidade das chuvas horárias ( $\text{mm.h}^{-1}$ )

CLASSIFICAÇÃO		$\text{mm.h}^{-1}$
<b>FA</b>	Fraca	0,20   1,0
<b>MO</b>	Moderada	1,0   4,0
<b>FO</b>	Forte	4,0   16,0
<b>MFO</b>	Muito Forte	16,0   45,0

Fonte: Adaptado de Mendes (2013)

A classificação proposta apresentava uma classe “Muito Fraca”, contudo, seus valores correspondiam a volumes de chuva abaixo de 0,2 mm/hora e, por não ter a presença desses na EMA analisada se retirou da análise. Esse critério de classificação é importante, pois se sabe que as chuvas horárias, dependendo de sua intensidade e frequência, e quando atreladas ao nível de capacidade de infiltração de água no solo, podem gerar desastres naturais (ALVES e GALVANI, 2012; MENDES, 2013).

## 6 RESULTADOS E DISCURSÃO

### 6.1 CLASSIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO ANUAL

Na observação da série histórica de João Pessoa (período de 1991 a 2020), através de seus totais anuais revela uma variação de 972,9 mm para o ano de 1999 (mais seco) e de 2725,5 mm para 1994 (mais chuvoso), Figura 10 abaixo.

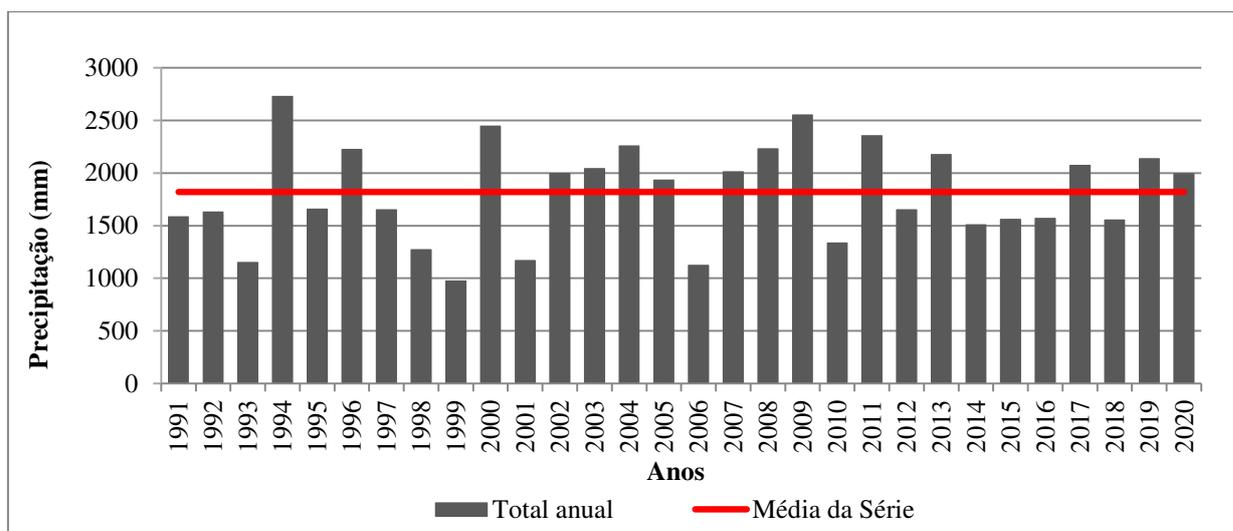


Figura 10- Distribuição anual da precipitação em João Pessoa – PB (1991 a 2020).

Fonte: Estação Meteorológica de João Pessoa/INMET  
Organização: Shayenny Alves de Medeiros.

O período de 1991 a 1996 apresentou o total pluviométrico de 10.968,2 mm, nesse período apenas o ano de 1993 (1149,9 mm) esteve abaixo da média da série histórica (1819,43 mm), esse período foi responsável por aproximadamente 63,3% da precipitação década de 1990 (17.306,00 mm). Já nos anos de 2001-2010 foi registrado um total pluviométrico de 18.642,70 mm, os períodos de 2003-2005 e 2007-2009 são responsáveis por um total pluviométrico de 6231,6mm e 6790,1mm respectivamente, totalizando aproximadamente 70% da precipitação para essa década.

E nos últimos 10 anos da série (2011 a 2020), o total pluviométrico foi de 18.569,7 mm. Nesse período apenas os anos de 2011, 2013, 2017 e 2019 apresentaram totais acima de 2000 mm, com a maior precipitação registrada em 2011 para essa década de 2355,2 mm. Os períodos 1991-2000, 2001-2010 e 2011-2020 tiveram uma porcentagem de contribuição de precipitação total de: 31,74%, 34,20% e 34,06% respectivamente.

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 (CH) e Muito Chuvoso (MC). Os limites inferiores e superiores de cada classe estão descritos na

Tabela 8. Ainda usando essa divisão das cinco (05) classes anuais de precipitação, foram apresentados na Tabela 3 os anos que evidenciam as ocorrências de El Niño e La Niña em cada classe, assim podem-se relacionar os anos de cada classe com os fenômenos.

Tabela 8 - Limites dos Intervalos das Classes Anuais da Precipitação de João Pessoa-PB do período de 1991-2020 e a Frequência Percentual dos anos em cada classe. Registros dos anos com ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña (Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE);

Classes de Precipitação		Precipitação (mm)	Frequência percentual dos anos	Anos
I	(MS)	972,9  ————  1292,8	16,67%	*1993 •2001 *1998 *2006 *1999
II	(S)	1292,8 ———  1591,36	20,00%	*1991 *2015 *•2010 *2016 2014 •2018
III	(N)	1591,3 ——— 2037,1	26,66%	*1992 •2002 *2012 *1995 *2005 2020 *1997 *•2007
IV	(C)	2037,1  ———— 2247,9	20,00%	•1996 2013 *2003 •2017 •2008 2019
V	(MC)	2247,9  ————  2725,5	16,67%	*1994 *2009 •2000 •2011 *2004

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

\*Ano com a ocorrência de El Niño

• Ano com ocorrência de La Niña

\* • Ano com a ocorrência de El Niño e La Niña

Os fenômenos El Niño e La Niña têm sido associados à precipitação da Região Nordeste, entretanto, esses resultados mostram que, possivelmente, não há influência deles 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, para os anos que aconteceram os fenômenos. No entanto, a variabilidade da precipitação, no litoral leste no NE, possui 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).

A distribuição anual da precipitação para o período dos 30 anos em estudo, entre o período de 1991 a 2020, apresentou uma média climatológica anual de 1819,43mm. Então, em acordo com a

Tabela 8 e a Figura 11 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 26,6% dos anos. O limite dessa classe varia entre 1591,3mm e 2037,1mm. Os anos considerados Muito Secos (MS) têm mínimo de 972,9mm e máximo de 1292,8 mm, enquanto os considerados Secos (S) variam entre 1292,8mm até 1591,36mm. Juntas as duas classes representam 36,67% dos anos investigados.

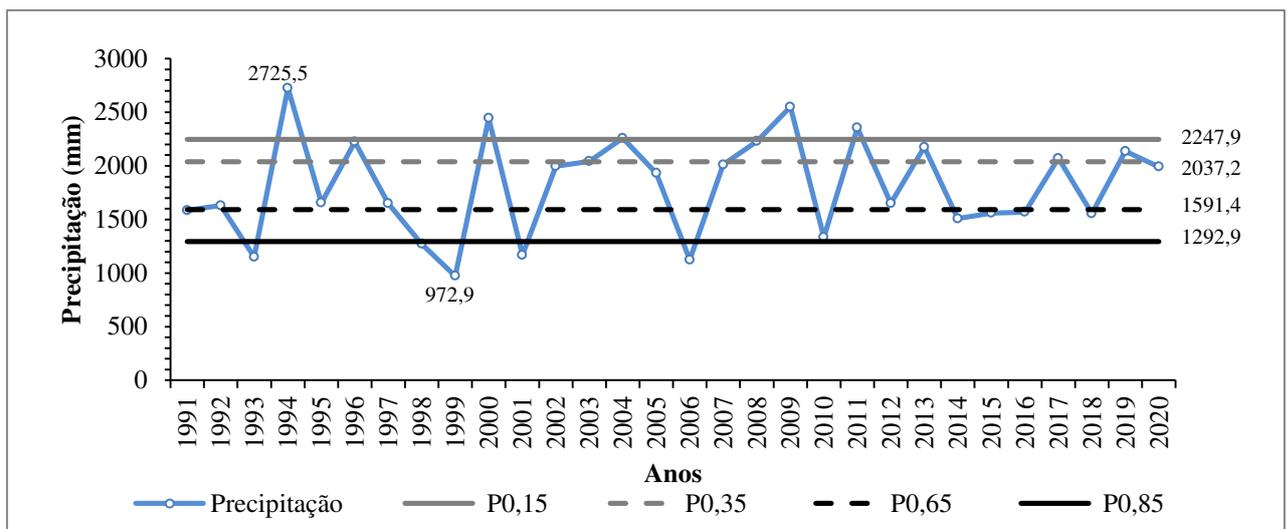


Figura 11- Distribuição do total anual da precipitação e a sua Classificação obtida pelo método dos percentis, no período 1991-2020 da Estação Climatológica do INMET em João Pessoa/PB: Precipitação, Percentil0,15, Percentil0,35, Percentil0,65 e Percentil0,85 .

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

Na Figura 11, observa-se que os menores índices de precipitação estão nos anos 1993, 1998, 1999, 2001, 2006, 2010 e 2015 os quais foram classificados como Muito Seco (MS), com valores menores ou iguais a 1292,8mm. 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 (Tabela 3). 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 1994, 2000, 2004, 2009 e 2011 foram classificados como Muito Chuvoso (MC), pois apresentaram valor maior ou igual a 2247,9mm. Os valores máximos da chuva anual estão nos anos de 1994 (2725,4mm) e em 2009 (2550,4mm) e ambos registraram a ocorrência de El Niño de intensidade moderada, o que pode indicar que outros sistemas atmosféricos influenciaram nesses altos índices pluviométricos.

## 6.2 CLASSIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MENSAL

Quanto a variabilidade mensal, apresentada no **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, os máximos das médias mensais são dos meses de abril (230,7 mm), maio (276,78 mm), junho (355,77 mm) e julho (273,93 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). Na Figura 12 ainda se ressalta o mês de junho com valor máximo de precipitação e que a média climatológica do período em estudo é bem próxima da normal climatológica, o que qualifica o uso dessa série de dados.

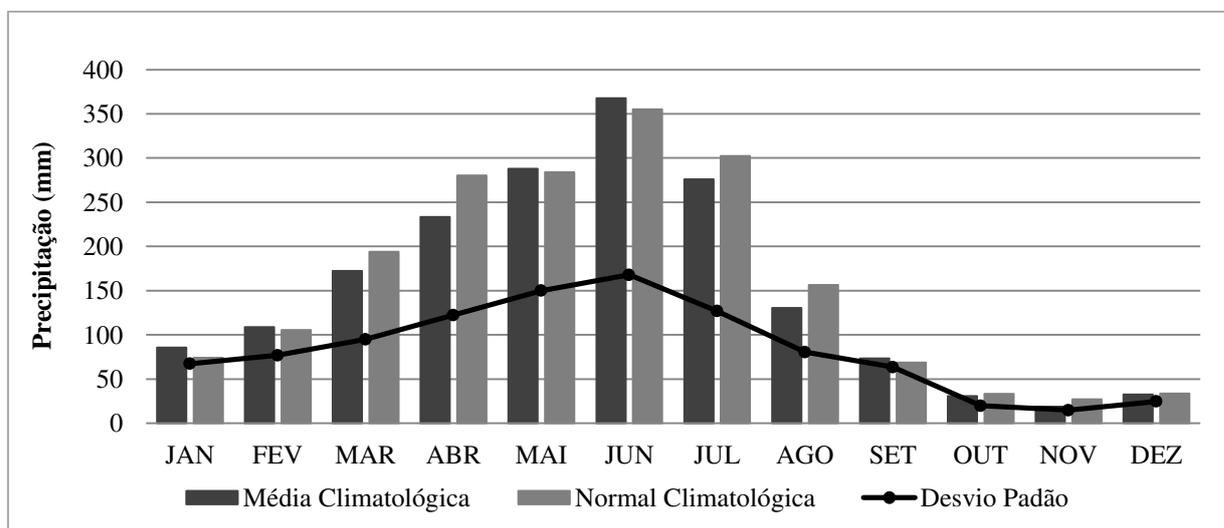


Figura 12- Distribuição mensal da normal climatológica da precipitação (1981-2010) e da precipitação média e desvio padrão (DP) do período 1991-2020 para João Pessoa.

Fonte: Estação Meteorológica de João Pessoa/INMET.

Organização: 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 bem acima da média como: dezembro de 1997 (88,0 mm) e outubro de 1996 (80,1 mm).

### 6.2.1 Análises Mensais do Índice de Anomalia de Chuvas

A utilização do IAC permitiu identificar mudanças nos padrões de comportamento da precipitação como também possibilitou avaliar a distribuição espacial. Por meio da aplicação desse índice, foi possível identificar a intensidade dos ciclos (chuvosos e secos) do município de João Pessoa-PB. Dessa forma, notou-se valores de IAC positivos, significando que o mês foi chuvoso (úmido) e valores de IAC negativos, que representam os meses secos. As Figura 13 e Figura 23, mostram os resultados da análise dos dados pluviométricos de 1991 a 2020 para o município.

Em todo período de análise, foram avaliados 30 anos de dados, total de 360 meses, 151 positivos e 209 negativos. O maior valor negativo do IAC foi registrado no mês de julho de 2016 (-5,16) e o maior índice positivo (9,93) em setembro de 2013, suas intensidades classificadas como seca extremamente alta e umidade extremamente alta respectivamente.

No ano de 2016, o valor do índice provavelmente está relacionado com a ocorrência de El Niño de intensidade forte, salienta-se que esse episódio está entre os três mais intensos desde 1950, já no ano de 2013 não ocorreu El Niño e La Niña, logo, outro sistema atmosférico deve estar associado à elevada pluviometria desse ano. Uma análise mais detalhada de cada mês foi realizada e descrita a seguir.

Conforme o resultado presente no **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, é possível verificar que os anos com os janeiros mais chuvosos foram: 1994, 2002, 2012, 2011, 2004, o IAC do mês de janeiro, dos 30 anos, treze anos foram úmidos e 17 anos secos, o maior ponto de inflexão para o mês de janeiro, ocorreu no ano de 2004, classificado como Umidade Extremamente Alta, e o menor em 2006 se enquadrando em Seca Alta, com médias mensais de precipitação de 283,7 mm e 10,8 mm, respectivamente. Nenhum dos meses se classificou como Seca Extremamente Alta. Os pontos extremos de inflexão seguem destacados no gráfico.

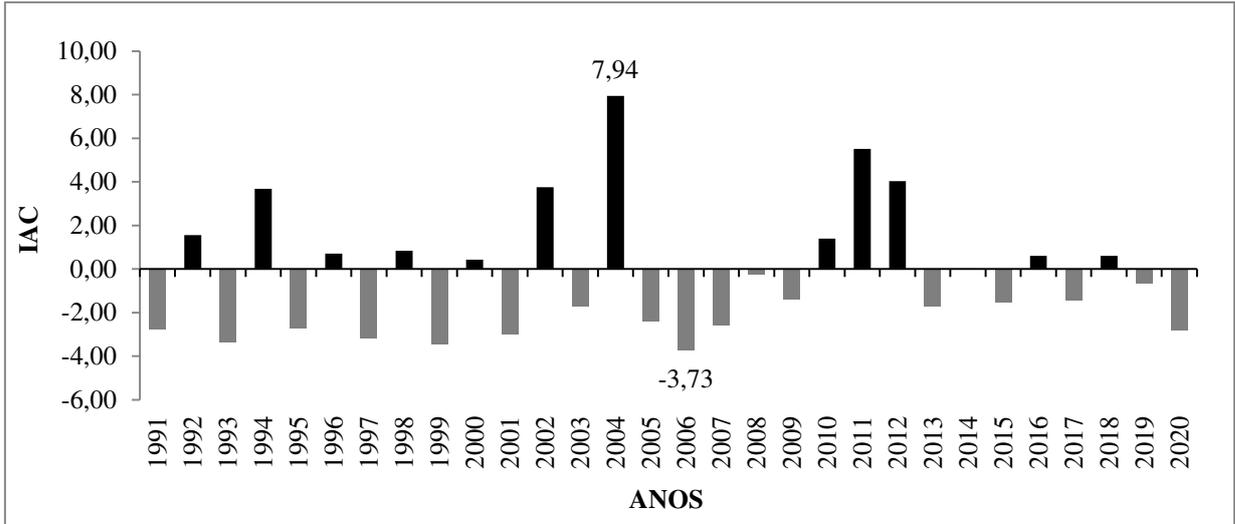


Figura 13 - IAC anual do mês de Janeiro do Município de João Pessoa-PB.

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

A partir da Figura 14, para o mês de fevereiro, constataram-se 14 anos úmidos e 16 anos seco, classificando de umidade extremamente alta a seca alta. O maior e menor ponto de inflexão foram os anos de 2009 (260,6 mm) e 1993 (4,5 mm), na série não teve seca extremamente alta.

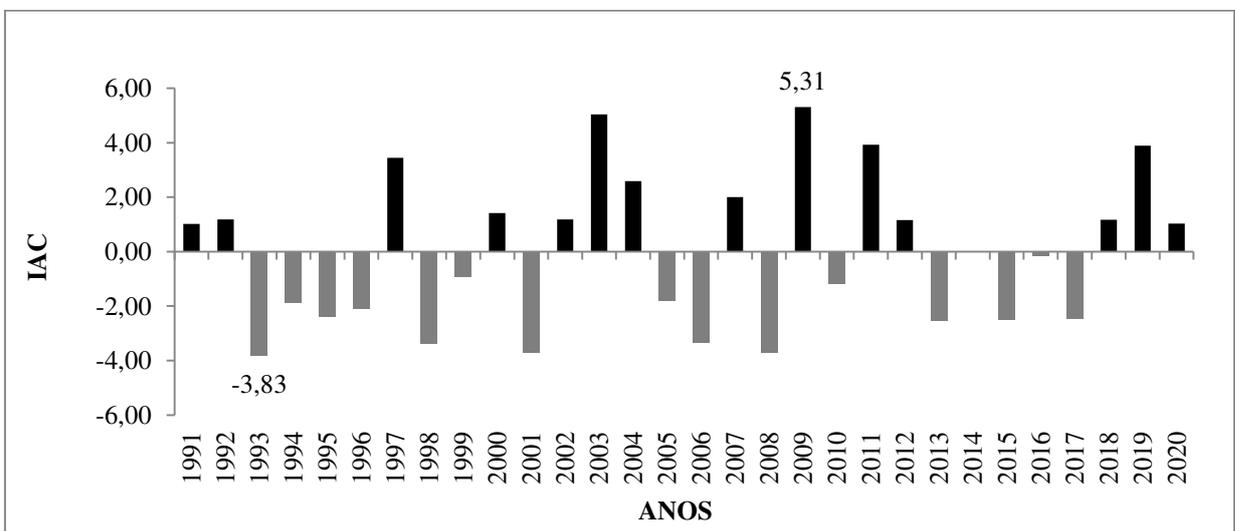


Figura 14- IAC anual do mês de Fevereiro do Município de João Pessoa-PB

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

Na Figura 15, os IACs do mês de março indicaram que houve 13 anos úmidos e 17 anos secos, com maior ponto de inflexão em 2015 com 406,6 mm de precipitação, mais que o dobro do esperado para o mês, e o menor em 2013 (17,5 mm), ou seja, seca extremamente alta.

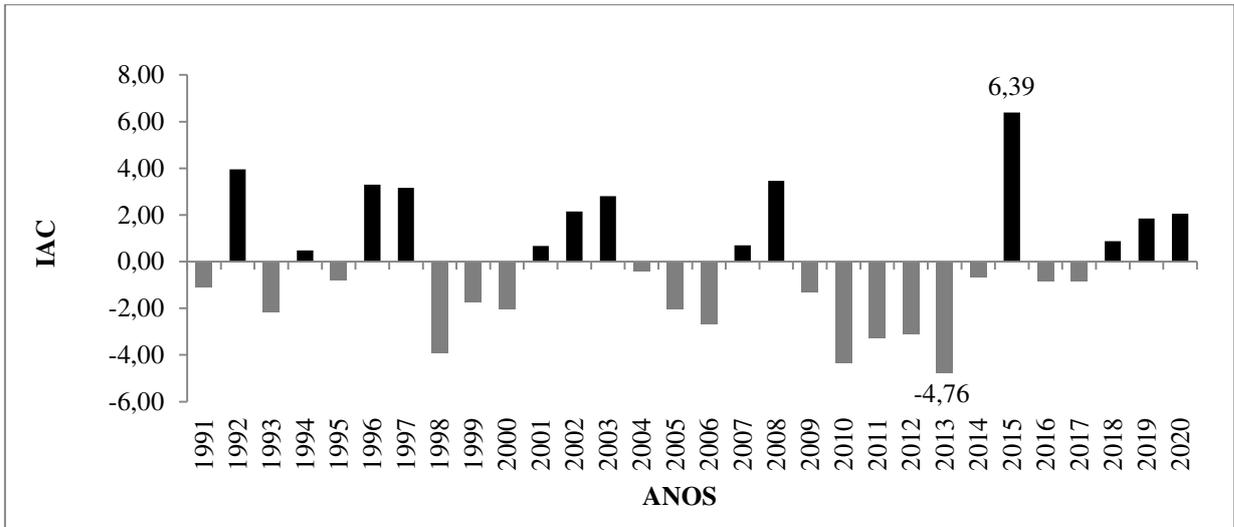


Figura 15 - IAC anual do mês de Março do Município de João Pessoa- PB.

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

Para o mês de abril (Figura 16), o maior ponto de inflexão no ano de 2009 (ano úmido) com uma precipitação mensal de 540,4 mm, mais que dobro para a esperada (233,3 mm), e o menor em 1998 (37,9 mm), classificado como ano seco extremamente alto, em resumo, 14 anos de umidade e 16 anos de seca.

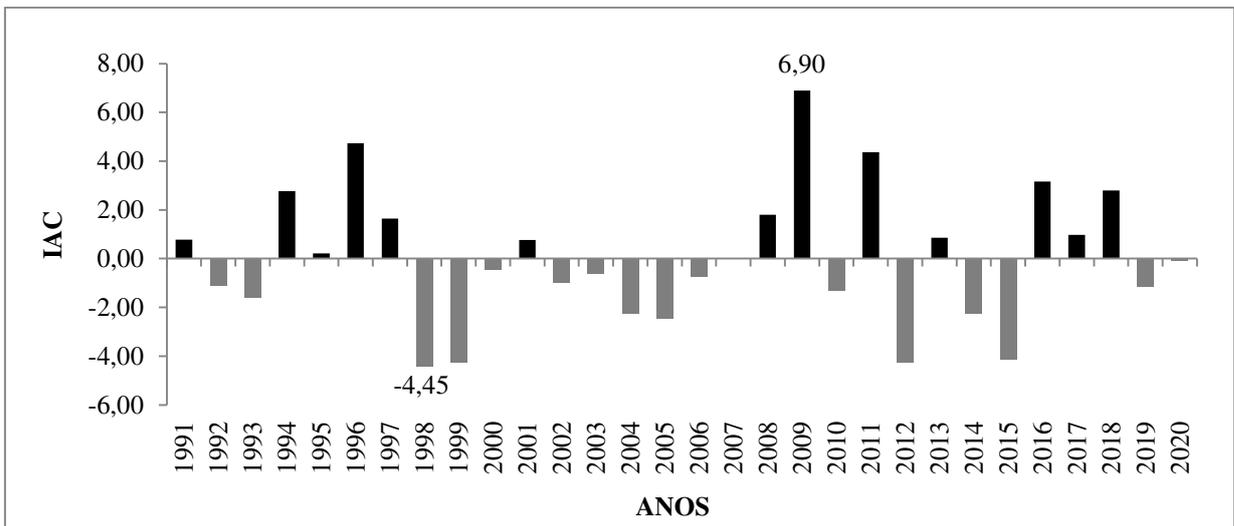


Figura 16 - IAC anual do mês de Abril do Município de João Pessoa-PB.

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

Para o IAC da Figura 17, o mês de maio teve 14 anos úmidos com maior ponto de inflexão em 1994 (620,5 mm), caracterizando um ano com umidade extremamente alta,

classificado como o mais chuvoso da série com um total anual de 2725,5 mm, e o menor IAC para o ano de 2001 (47,7 mm), os outros 16 anos foram secos.

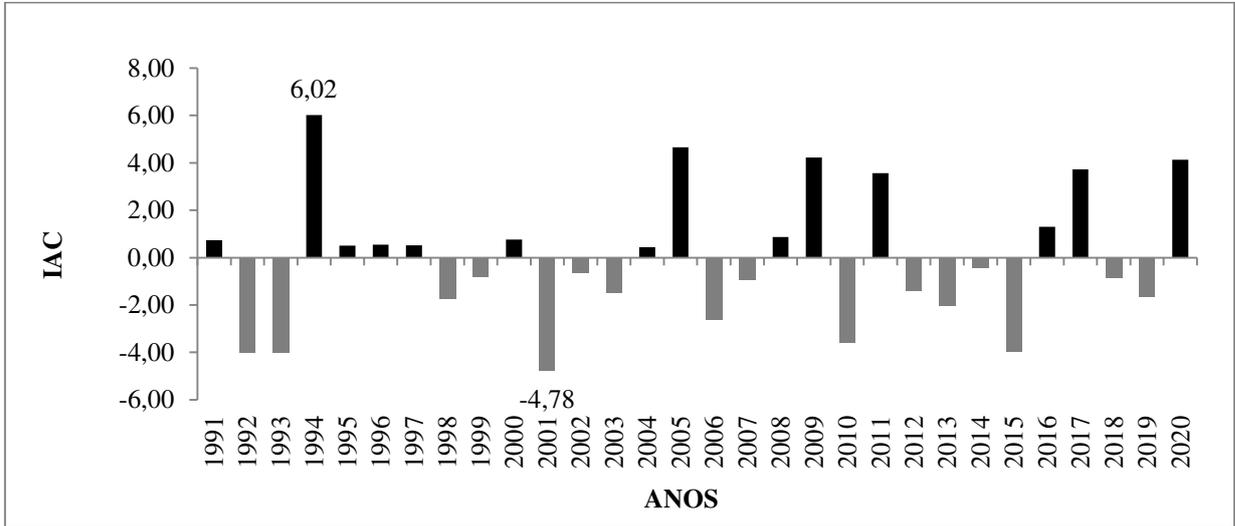


Figura 17- IAC anual do mês de Maio do Município de João Pessoa-PB.

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

No mês de junho (Figura 18), o IAC indicou que dentro os anos estudados são 13 úmidos e 17 secos. Com maior ponto de inflexão, o ano de 1994 (709,4 mm) se destacou como um extremamente úmido, registrando quase o dobro da média climatologia mensal para junho (367,58 mm). E o menor no ano de 1997 (90,5 mm) definindo-se como extremamente seco.

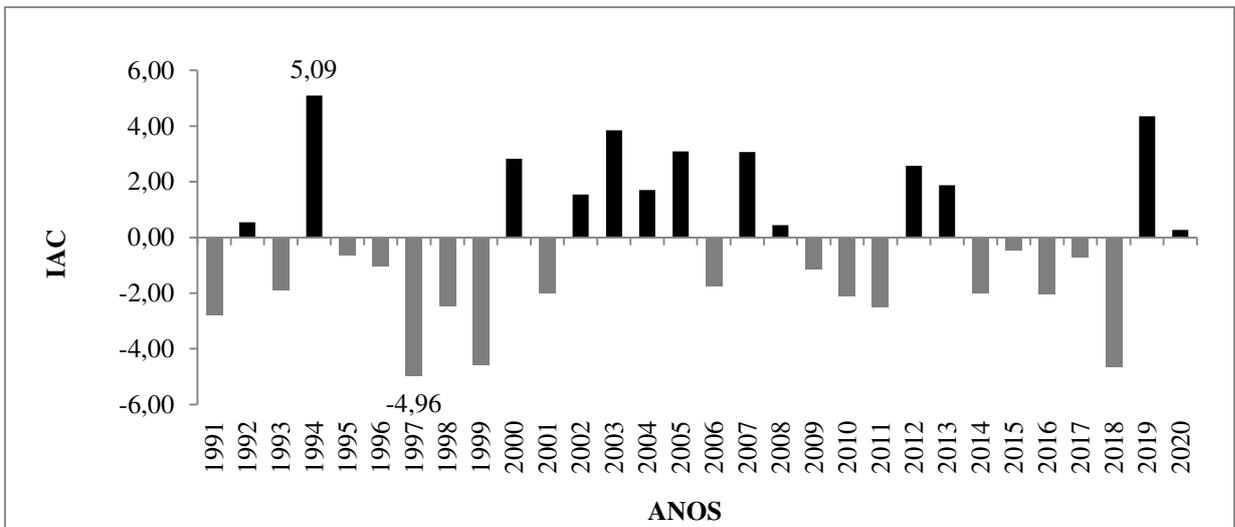


Figura 18- IAC anual do mês de Junho do Município de João Pessoa-PB.

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

Com base na Figura 19 infere-se que, o mês de julho com 14 anos úmidos, com maior ponto de inflexão no ano de 1995 (482,7 mm), e 16 anos seco, com o menor IAC registrado em 2016 (45,8 mm).

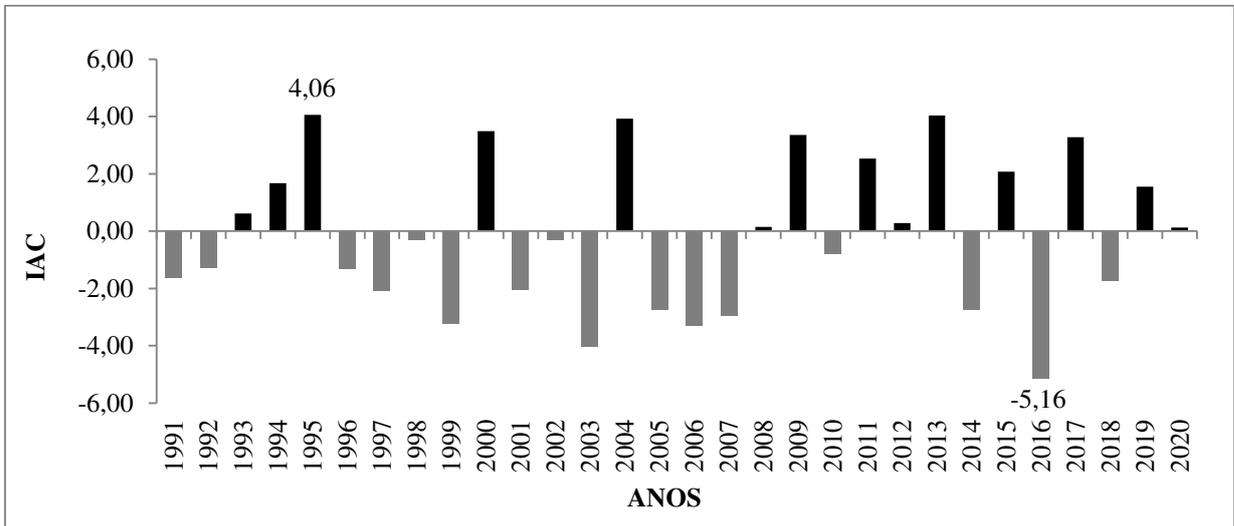


Figura 19- IAC anual do mês de Julho do Município de João Pessoa-PB.  
Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

O mês de agosto (Figura 20) apresentou 12 anos úmidos, e 18 anos de classificação seca. O ano de maior ponto de inflexão foi de 2008 (318,0 mm) e com o menor ponto o ano de 2016 (24,2 mm).

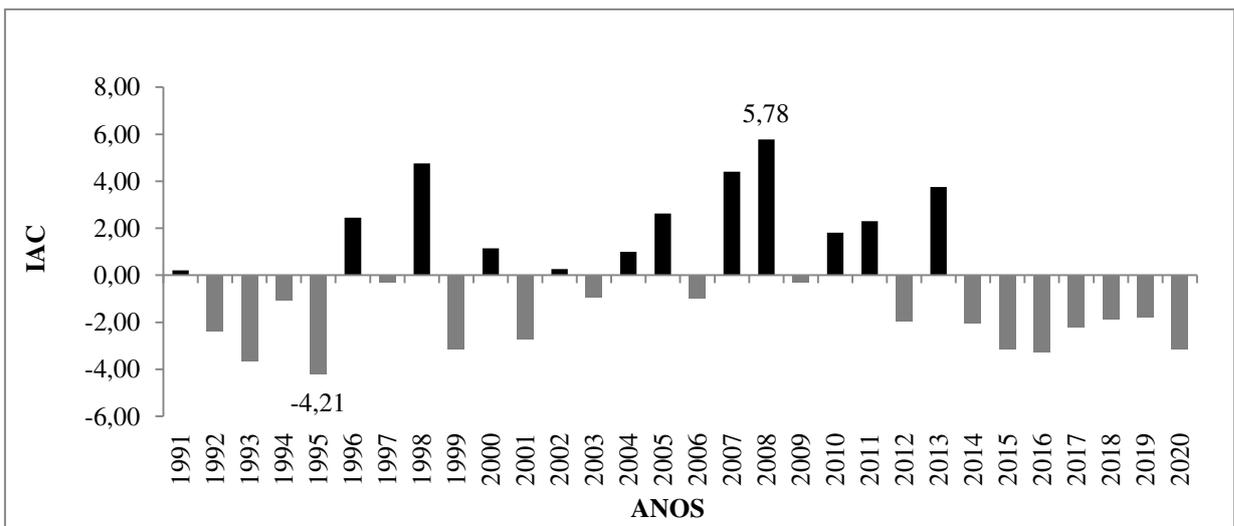


Figura 20 - IAC anual do mês de Agosto do Município de João Pessoa-PB.  
Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

De acordo com a Figura 21, setembro foi o mês dentro do período histórico que apresentou menor quantidade de anos úmidos, totalizando 9, conseqüentemente, apresentando a maior quantidade de anos secos (21). O ano de maior ponto de inflexão de toda a série mensal foi em 2013 com o IAC= 9,93 (287,5 mm) e com o menor ponto o ano considerado como extremamente seco, 1997 (9,4 mm).

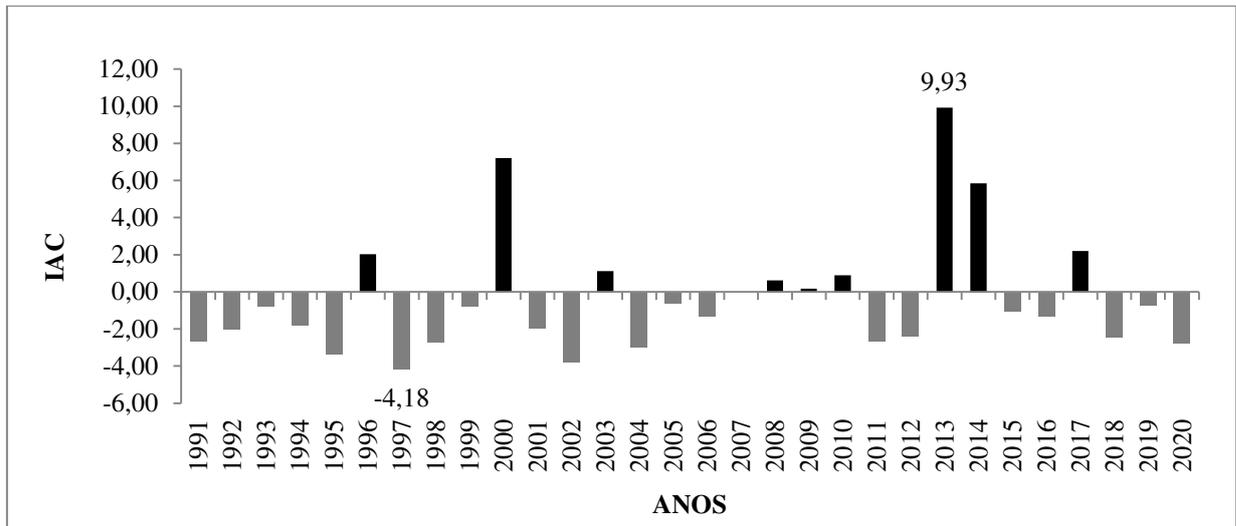


Figura 21 - IAC anual do mês de Setembro do Município de João Pessoa-PB.  
Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

Para o mês de outubro (Figura 22), treze anos úmidos, e 17 anos com secos, com grande ponto de inflexão em 1996 (80,1 mm) ficando o menor para o ano de 2018 (1,9 mm) considerado um ano extremamente seco.

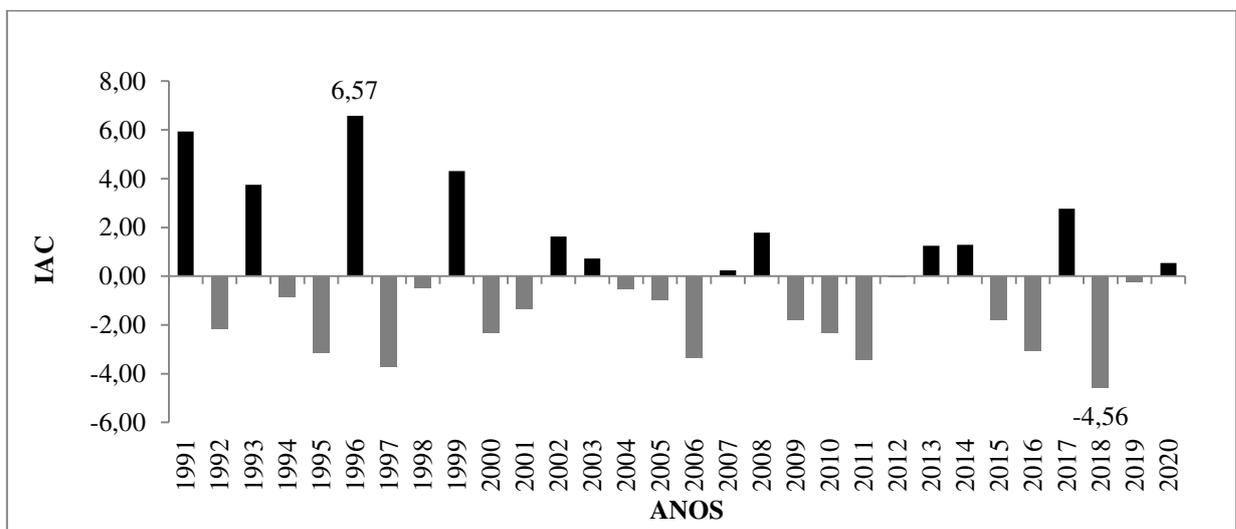


Figura 22- IAC anual do mês de Outubro do Município de João Pessoa-PB.  
Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

Os meses de novembro e dezembro, respectivamente nas Figura 23 e Figura 24, os índices calculados classificaram o período em 12 anos úmidos e 18 secos. Para novembro com maior ponto de inflexão no ano de 2000 e 2009, ambos com a precipitação mensal de 45,8 mm. E os menores em 1995 e 2019. Já em dezembro o maior ponto de inflexão no ano de 1997(88 mm) e menor em 1995 (3,3 mm).

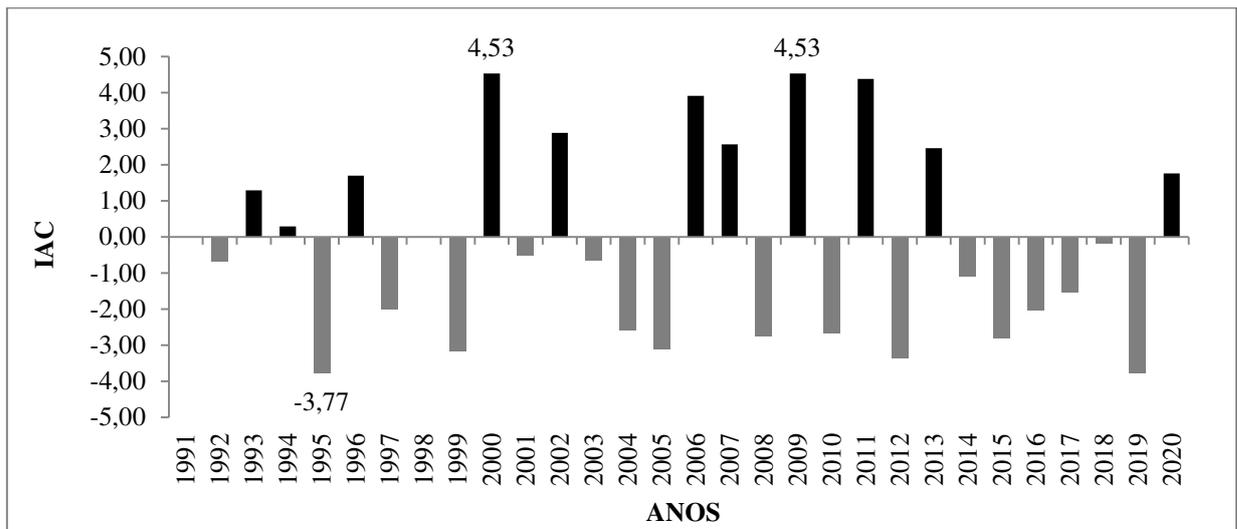


Figura 23- IAC anual do mês de Novembro do Município de João Pessoa-PB.  
Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

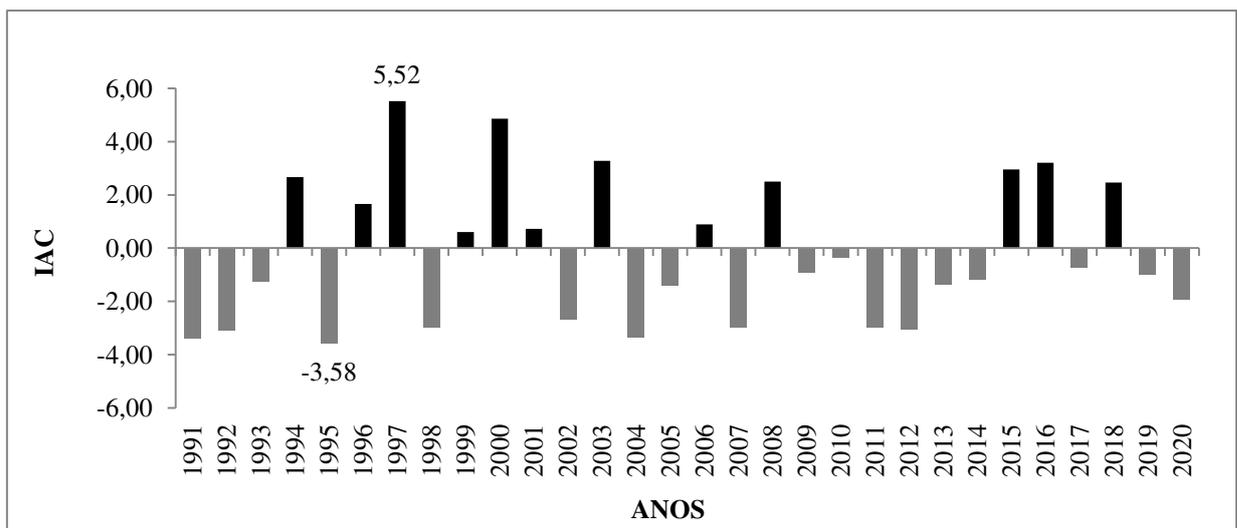


Figura 24 - IAC anual do mês de Dezembro do Município de João Pessoa-PB.  
Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

No geral, sabendo que período chuvoso pela variabilidade climatológica ocorre entre os meses de abril a julho, todos os que estão contidos dentro desse intervalo alcançaram em máxima quantidade de até 14 anos úmidos.

Observando o período de seca, que remete aos meses de agosto a dezembro, chegaram a apresentar máxima de 21 anos secos, que foi o destaque ao mês setembro com o maior registro, seguidos de novembro e dezembro com 18 de anos secos. Destacando ainda que, os maiores IAC registrados foram 9,93 (setembro/2013), 7,93 (janeiro/2004), 7,21 (setembro/2000) e os menores índices -5,16 (julho/2016), -4,96 (junho/1997) e -4,76 (março/2013).

No Quadro 4 é possível notar a distribuição de cada mês dentro de cada Classe de Intensidade do IAC, como a contribuição de cada mês em porcentagem, totalizando 360 anomalias.

Quadro 4 - Total de meses com ocorrência de anomalias negativas e positivas de precipitação por classificação de intensidade dos valores do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) do Município de João Pessoa para o período de 1991 a 2020.

ANOMALIAS	CLASSIFICAÇÃO DA INTENSIDADE DO IAC	Nº de meses por classificação das intensidades dos eventos de anomalias negativas e positivas de Precipitação de acordo com os valores do IAC														Totais Mensais com Anomalias positivas e negativas de Precipitação	Percentual sobre o total de meses com anomalias positivas e negativas de Precipitação (%)
		Total dos meses por classificação do IAC		Nº das ocorrências de anomalias negativas de precipitação por meses do ano de acordo com suas classificações de intensidade													
		(%)	Nº	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
POSITIVAS	UMIDADE EXTREMAMENTE ALTA	8,61	31	3	2	1	3	4	2	2	3	3	3	3	2	151	20,53
	UMIDADE ALTA	6,67	24	2	3	4	1	2	3	4	1	0	1	1	2		15,89
	UMIDADE MODERADA	6,39	23	0	1	3	2	0	2	2	3	2	1	3	4		15,23
	UMIDADE BAIXA	20,28	73	8	8	5	8	8	6	6	5	4	7	4	4		48,34
NEGATIVAS	SECA SUAVE	27,22	98	7	6	8	9	9	8	7	8	10	9	8	9	209	46,89
	SECA MODERADA	15,00	54	5	5	4	3	2	6	5	4	7	3	6	4		25,84
	SECA ALTA	11,11	40	5	5	3	0	2	0	2	5	3	5	5	5		19,14
	SECA EXTREMAMENTE ALTA	4,72	17	0	0	2	4	3	3	2	1	1	1	0	0		8,13
<b>TOTAL</b>		100	100	360	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	360

Fonte: Adaptado de Freitas (2004, 2005); Araújo et al. (2007).  
Organização: Shayenny Alves de Medeiros.

### 6.3 CLASSIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA

Na análise temporal diária, a frequência efetiva com chuva de toda a série temporal em estudo é 5722 dias, o valor máximo do número de dias com chuva ocorreu no ano de 1996 (229 dias) e o mínimo em 2016 (133 dias). A quantidade de dias com precipitação durante os anos estudados da cidade de João Pessoa pode ser observada através da Figura 25.

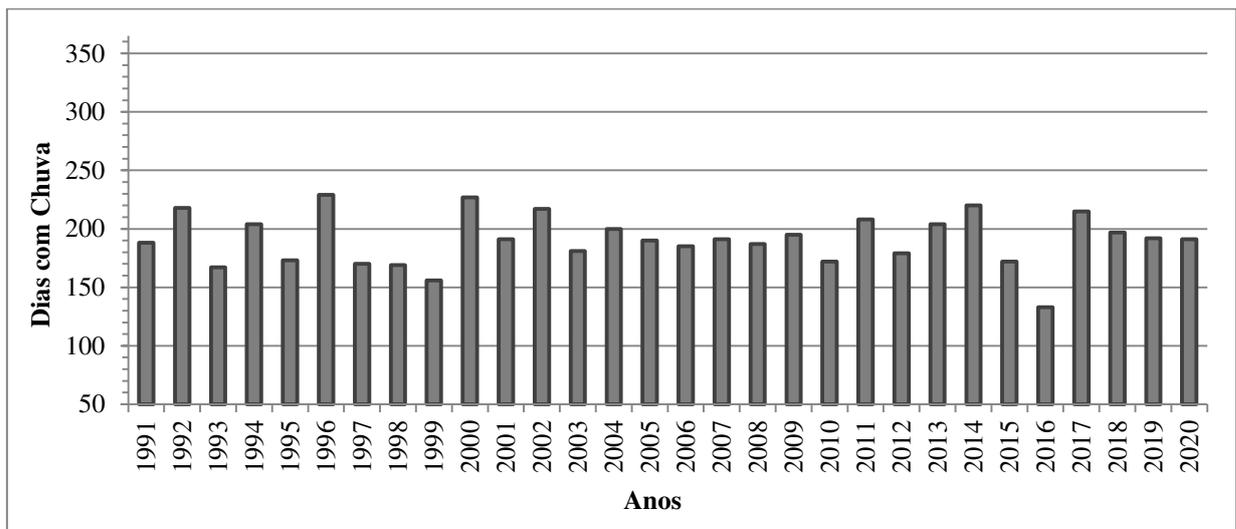


Figura 25 - Total de dias com chuva nos anos em estudo da cidade de João Pessoa-PB .

Fonte: Estação Meteorológica de João Pessoa/INMET.

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

Do mesmo modo foi realizada a quantificação mensal (Figura 26), identificando assim, os meses que tiveram mais precipitações diárias, tendo os máximos no mês de julho com 524 dias chuvosos para toda a série, seguido dos meses de agosto (500 dias) e junho (461 dias). No mês de junho de 2006, choveu em apenas nove dias totalizando 41 mm precipitado do mês, se caracterizando como um mês com chuvas bem abaixo do esperado. Os meses com os menores totais são: novembro (227 dias), dezembro (263 dias) e outubro (276 dias).

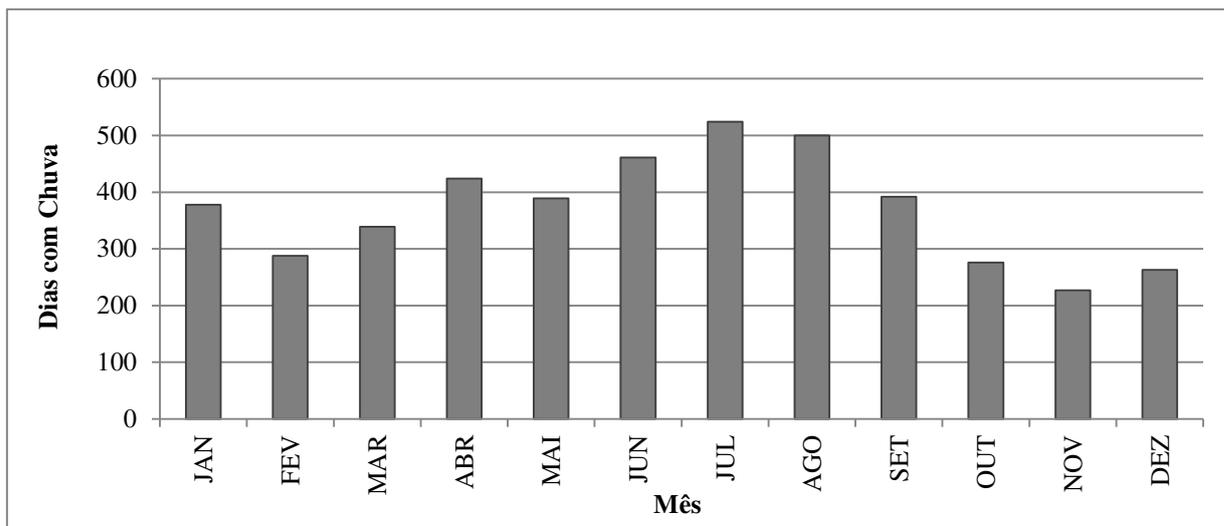


Figura 26 - Total de dias com chuva nos meses em estudo da cidade de João Pessoa-PB .

Fonte: Estação Meteorológica de João Pessoa/INMET.

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

A partir dos dados diários, foi construída uma nova série com dados diários de precipitação dos dias efetivamente com chuvas, a esses dados foram aplicados a técnica do percentil ( $P_{0,97}$ ), que permitiu identificar um total de 177 eventos extremos de precipitação, com um total diário igual ou maior do que 54 mm.

Na Figura 27 vê-se o número de eventos extremos de chuva identificados em cada ano do período em estudo e no quadrimestre chuvoso. Como também o total de eventos dos meses de janeiro a março, juntamente com os de agosto a dezembro. A frequência anual dos eventos extremos de precipitação, igual ou superior a 54 mm, é ilustrada na Tabela 10. 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 dezembro.

Para Marengo (2009), o aumento na ocorrência de eventos extremos, os quais tem se tornado cada vez mais frequente, trazendo prejuízos sociais e econômicos às regiões atingidas é resultado das mudanças climáticas. Investigações sugerem que a atuação do homem vem intensificando as consequências dos eventos, com ações como desmatamento de encostas e construção civil em áreas de risco.

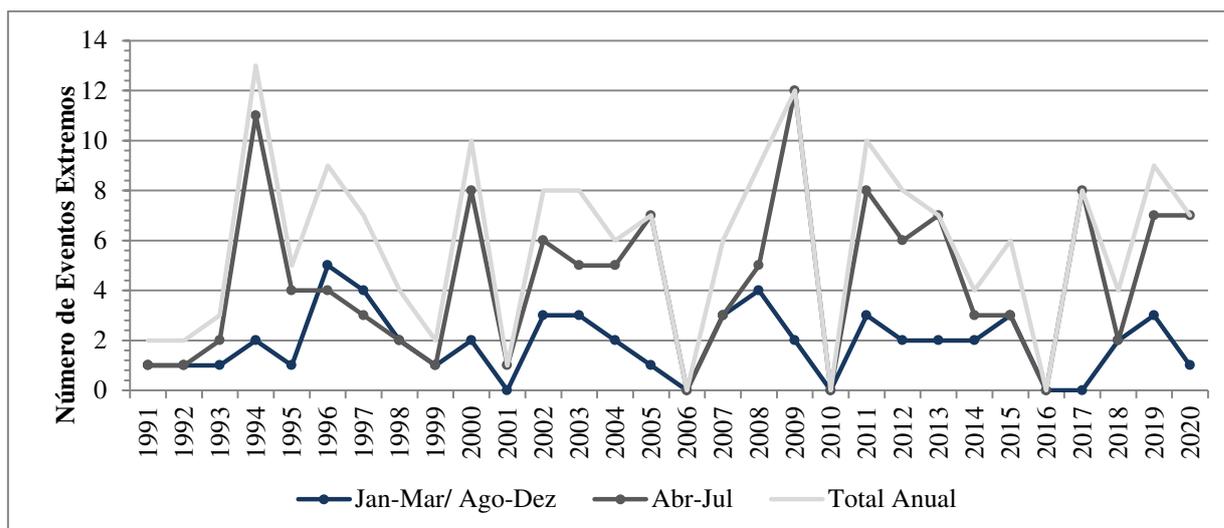


Figura 27- Frequência mensal do número de eventos extremos de chuva no período em estudo (1991-2020) no quadrimestre chuvoso (Abr-Jul) e nos meses de Janeiro a março e de agosto setembro (Jan-Mar/Ago-Dez), na cidade de João Pessoa-PB.

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

A frequência mensal de precipitação diária igual ou superior a 54 mm se torna importante para análise, pois ordena os eventos pluviométricos em classes de 20 mm, a partir do limite inferior da classe, e contabiliza quantos eventos em cada mês do ano (Tabela 9).

Tabela 9- Frequência mensal dos eventos extremos de precipitação, igual ou superior a 54 mm, por intervalos de classe de 20 mm.

CLASSES/ EVENTOS (mm)		MESES												TOTAL
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1	54-74	2	7	14	14	18	17	13	2	1	0	0	1	85
2	74-94	5	1	8	4	7	12	8	3	2	0	0	0	50
3	94-114	1	4	1	0	0	5	4	1	0	0	0	0	16
4	114-134	0	0	0	1	1	3	3	1	0	0	0	0	9
5	134-154	0	0	0	0	4	3	1	0	0	0	0	0	8
6	>154	0	0	0	0	2	2	0	0	1	0	0	0	5
<b>Total</b>		8	12	23	19	32	42	29	7	4	0	0	1	177

Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

Os valores presentes na Tabela 9 mostram que, no total são 85 eventos na classe de 54-74 mm, a qual representa a classe com maior número de eventos da série, em seguida estão os valores entre 74-94 mm, somados equivalem a 50 eventos, já a classe de 94-114 mm

totaliza 16 ocorrências, enquanto que a classe de 134-154 mm registrou 9 eventos e por fim 5 eventos inseridos na classe > 154,0 mm. Cabe mencionar que, o maior episódio de chuva diária intensa se deu no dia 30/05/1996 com valor de 190,0 mm.

O quadrimestre chuvoso apresenta o número máximo de eventos extremos de chuva, representando aproximadamente 122 casos da série temporal em estudo, os meses de abril, maio, junho e julho com valores de 19, 32, 42 e 29, respectivamente.

Muito provavelmente, as explicações para esses eventos nos meses de março a maio reside na influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a qual se intensifica no mês de março, assim como também do Vórtice Ciclônico de Ar Superior (VCAS) e das Linhas de Instabilidade (LI) que agem com frequência entre março a maio, enquanto também é provável que os eventos intensos nos meses de junho e julho são afetados pelas Ondas de Leste (OE) e pela massa Polar Atlântica (MPA), que ao se encontrar com a massa Tropical Atlântica (MTA) provoca chuva, todos esses sistemas proporcionam chuvas e podem ocorrer isoladamente ou em associação.

Fora da quadra chuvosa é importante destacar o mês de março por apresentar 23 eventos extremos, entretanto, os meses de outubro, novembro e dezembro não possuem nenhum evento, meses em que as precipitações diárias estão abaixo de 54 mm, com exceção do dia 22 de dezembro de 1997 que registrou apenas um evento extremo (58,5 mm), ressalta-se que esses estão inseridos no regime seco, período condicionado pela elevada estabilidade atmosférica da Massa Tropical Atlântica (MTA).

Dos anos classificados com a diminuição nos totais de chuva, os anos Muitos Secos (MS) apresentaram um total de 10 eventos extremos de chuva e os anos Secos (S) 16 eventos. De toda a série de dados, apenas três anos deles (2006, 2010 e 2016), da classe Muito Seco (MS) e Seco (S), não registrou nenhum caso de evento extremo.

Os anos da série que acumularam o maior número de ocorrências de eventos foram: o ano de 1994, com o maior total pluviométrico da série com 2725,5 mm e 12 eventos, 2009 com pluviosidade anual de 2550,4mm e 12 eventos e 2000, cujo total pluviométrico foi de 2445,0 mm com 10 eventos. Verifica-se, portanto que os anos que apresentaram os maiores números de eventos de precipitação diária intensa também foram aqueles classificados como Muito Chuvosos.

Esses anos citados, foram classificados como Muito Chuvoso, na 10 está a distribuição da quantificação dos eventos extremos. Relacionando o número de eventos extremos com os anos atribuídos as classes de precipitação se tem a seguinte distribuição.

Tabela 10 – Total pluviométrico anual e número de eventos iguais ou superiores a 54 mm em 24 horas, registrados em João Pessoa - PB (1991 a 2020).

ANO	TOTAL PLUVIOMÉ TRICO (mm)	Nº DE EVENTOS	ANO	TOTAL PLUVIOMÉ TRICO (mm)	Nº DE EVENTOS
1991	1584,7	2	2006	1122,6	0
1992	1629,1	2	2007	2010,3	6
1993	1149,9	3	2008	2229,4	9
1994	2725,5	12	2009	2550,4	12
1995	1655,6	5	2010	1333,3	0
1996	2223,4	9	2011	2355,2	10
1997	1648,8	7	2012	1651,2	8
1998	1271,1	4	2013	2174,7	7
1999	972,9	2	2014	1508,1	4
2000	2445,0	10	2015	1559,3	6
2001	1168,4	1	2016	1569,2	0
2002	1996,7	8	2017	2070,4	8
2003	2041,9	8	2018	1554,5	4
2004	2257,9	6	2019	2135,4	9
2005	1931,8	7	2020	1991,7	7
<b>TOTAL</b>				<b>177</b>	

Fonte: Estação Meteorológica de João Pessoa/INMET  
Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

Nos anos de 1991-2000 foram registrados 57 eventos, no decênio de 2001 o número também foi de 57 eventos, e a partir de 2011 registrou-se 63 eventos. Assim, observa-se o aumento das ocorrências de chuvas diárias intensas na cidade. Associado a classificação da variabilidade anual, mensal e diária da chuva, de João Pessoa, é importante evidenciar alguns impactos associados à intensidade dessas chuvas.

Segundo o Órgão da Defesa Civil de João Pessoa, nos últimos anos a capital reduziu de 35 para 27 áreas consideradas de riscos, e com a implantação do Programa João Pessoa em Ação tem ajudado a reduzir o número de ocorrências de desastres na cidade ( Tabela 11). Porém, elas são preocupantes quando associados aos extremos de precipitação.

De acordo com Zanella, Sales e Abreu (2009), os fenômenos naturais relacionados ao clima, principalmente, quando se apresentam como eventos extremos, geram nas sociedades inúmeros problemas, muitos dos quais de caráter catastrófico, repercutindo negativamente na qualidade de vida das populações pós eventos.

Tabela 11 - Ocorrência de desastres sujeitas a riscos para a população no período de 2005 a 2017 na cidade de João Pessoa-PB.

<b>LEVANTAMENTO DE OCORRÊNCIAS</b>								
<b>Ano</b>	<b>Alagamentos</b>	<b>Deslizamentos</b>	<b>Desabamentos</b>	<b>Rachaduras</b>	<b>Incêndios</b>	<b>Muro</b>	<b>Árvore</b>	<b>Total</b>
<b>2006</b>	120	60	110	200	5	10	5	510
<b>2007</b>	100	65	120	210	5	12	4	516
<b>2008</b>	94	60	110	200	5	10	5	484
<b>2009</b>	110	62	136	252	10	19	8	597
<b>2010</b>	81	59	110	189	11	10	7	467
<b>2011</b>	97	60	120	190	9	8	5	489
<b>2012</b>	107	56	123	197	5	14	2	504
<b>2013</b>	73	36	82	233	3	15	4	446
<b>2014</b>	51	18	55	183	2	21	17	347
<b>2015</b>	80	23	56	213	9	17	48	446
<b>2016</b>	84	26	13	184	10	28	38	383
<b>2017</b>	76	18	12	154	5	25	57	347
<b>Total</b>	<b>1073</b>	<b>543</b>	<b>1047</b>	<b>2405</b>	<b>79</b>	<b>189</b>	<b>200</b>	<b>5536</b>

Fonte: Defesa Civil de João Pessoa-PB  
Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

Como exemplo, o ano de 2013 onde foi registrado 36 deslizamentos de barreiras, 73 pontos de alagamentos, além de muitos outros danos devido aos sete eventos extremos de precipitação, nesse ano com total precipitado de 736,4 mm, conforme informações fornecidas pela defesa Civil. Devido ao 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 junto com a propagação de um distúrbio no escoamento de leste (Climanalise, 2013).

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 por causa das vias interditadas com grande acúmulo de água.

A Defesa Civil divulgou que o número de famílias afetadas pelos desastres dessas chuvas de setembro, chegava a 1000, em todas as 31 áreas identificadas como áreas de risco de desastres. 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 desastres na cidade, como citado no item 3.7.

#### **6.4 EPISÓDIOS PLUVIOMÉTRICOS SUPERIORES A 150 mm/24h NA CIDADE DE JOÃO PESSOA**

Deste modo, foram destacados 6 episódios de eventos extremos de chuvas intensas com volumes iguais ou superiores que 150 mm/dia: Episódio 1: 30/05/1996 -190 mm; Episódio 2: 26/06/2000 - 168,2 mm; Episódio 3: 20/05/2011- 165 mm; Episódio 4: 28/06/2012 - 151,6 mm; Episódio 5: 04/09/2013 - 159,2 mm, Episódio 6: 14/06/2019 - 182,4 mm.

Esses episódios foram analisados conforme a sua magnitude e repercussão, apresentando-os de maneira geral, descrever os impactos socioeconômicos gerados na sociedade, embasados nas informações disponibilizadas pelos Jornais e pela COMPDEC-JP e também para identificar quais sistemas atmosféricos que deram origem aos eventos extremos em estudo, através das Cartas Sinóticas que estão disponíveis no CPTEC/INPE, no entanto, apenas para os anos a partir de 2009, logo somente os Episódios 3, 4, 5 e 6 tiveram as cartas com descrição da superfície e assim, poder compreender qual sistema, possivelmente, influenciou nas chuvas intensas.

##### **6.4.1 Episódio de 30/05/1996 – 190,0 mm**

Considerado um ano de índices pluviométricos superiores à média histórica esperada (aproximadamente 22% superior) 1996 se destacou por registrar o maior valor de precipitação em 24hrs da série em estudo em toda Paraíba, segundo o banco de dados do setor de Monitoramento e Hidrometria da AESA que contabiliza os índices pluviométricos, e o maior em todo o Brasil no ano de 1996, de acordo com o INMET.

Particularmente o mês de maio, que choveu 318 mm, sendo que a média de 30 anos (1991 a 2020) para o mês é de 287,9 mm. A distribuição da chuva durante o mês de maio de 1996 com o episódio do dia 30/05/1996, chuvas de 190,0 mm em 24 horas, o qual corresponde a aproximadamente 60% da precipitação total mensal, pode ser visto na **Figura 28**.

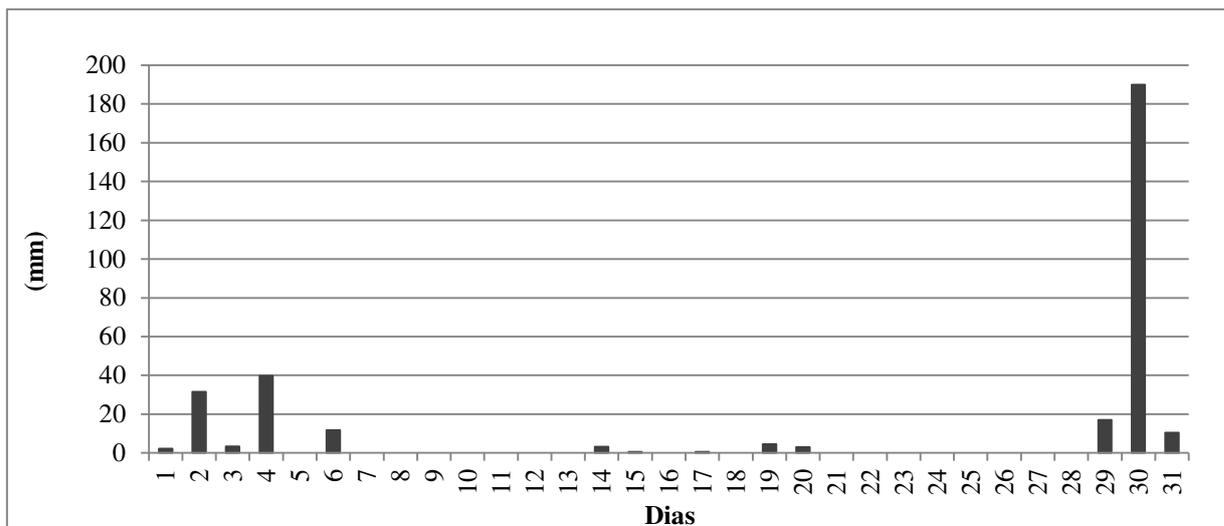


Figura 28- Precipitação do mês de maio de 1996, evidenciando o episódio do dia 30/05/1996.

Fonte: Estação Meteorológica de João Pessoa/INMET.

Organização: Shayenny Alves de Medeiros.

Segundo as notícias relatadas nesse episódio, este evento extremo foi gerado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) apresentando a pluviosidade desse dia como um caso excepcional, a população vivenciou impactos negativos causados pelas chuvas extremas em vários bairros/comunidades que foram atingidos, nos quais ocorreu inundação na Lagoa (Centro) e alagamentos nas favelas do Timbó (Bancários), Saturnino de Brito (Trincheiras), São Rafael (Castelo Branco), Renascer (Distrito Mecânico/Varadouro), Beira Rio, e nos bairros do Bessa, Cristo Redentor, Rangel e José Américo.

#### 6.4.2 Episódio de 26/06/2000 – 168,2 mm

O destaque desse episódio é sua ocorrência em um ano considerado de índices pluviométricos abaixo da média histórica (aproximadamente 9% a menos), com um total anual precipitado de 2445,0 mm em 2000, de acordo com os dados da Estação Meteorológica de João Pessoa/INMET.

No mês de junho choveu 557,7 mm, sendo que a média de 30 anos (1991 a 2020) para o mês é de 367,58mm. A **Figura 29** mostra a distribuição da chuva durante o mês de junho de 2000, no qual se evidencia o episódio do dia 26/06/2000 com chuvas de 168.2 mm em 24 horas, o qual corresponde a aproximadamente 30% da precipitação total mensal.

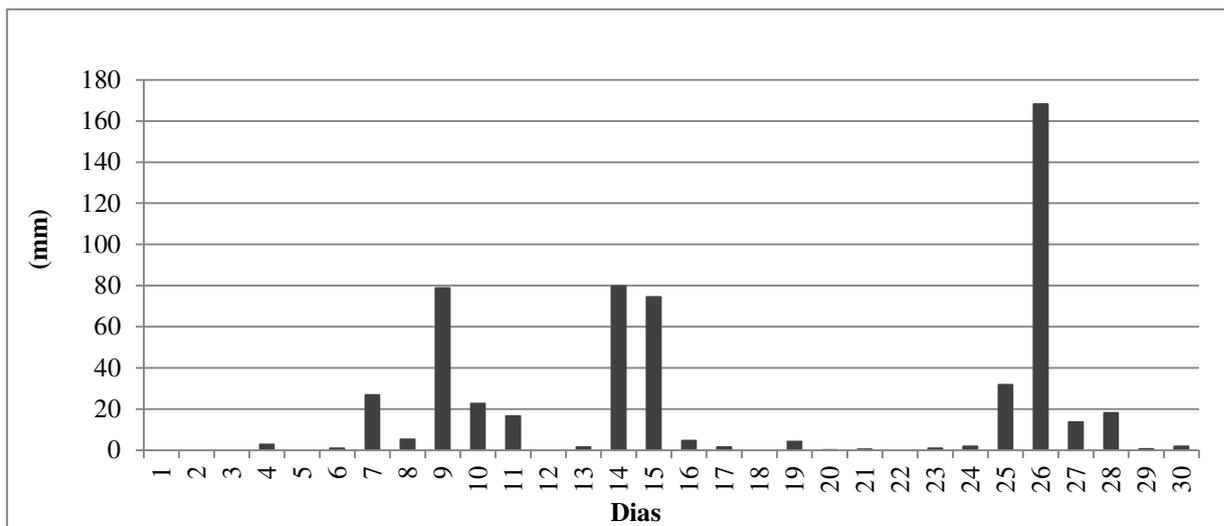


Figura 29 - Precipitação do mês de junho de 2000, evidenciando o episódio do dia 26/06/2000.

Fonte: Estação Meteorológica de João Pessoa/INMET.  
Organização: Shayenny Alves de Medeiros.

Alguns registros constataram alguns bairros atingidos nesse dia, como a Lagoa no Centro da cidade, favela Três Lagoas (Oitizeiro), Saturnino de Brito (Trincheiras), Timbó (Bancários), São Rafael (Castelo Branco), São José, Santa Emília de Rodat e no bairro do Alto do Mateus, todos esses sofreram com danos ocasionados pelas chuvas excessivas, como: inundações, alagamentos, desabamento de moradias e escorregamento de massas. O sistema atmosférico responsável pela geração de chuvas nesse dia foi o Complexo Convectivo de Mesoescala caracterizado pela presença do aglomerado de nuvens circulares e isoladas, de acordo com o CPTEC/INPE.

#### 6.4.3 Episódio de 20/05/2011 – 165 mm.

Esse extremo foi registrado em um ano considerado de índices pluviométricos acima da média histórica (aproximadamente 30% a mais). De acordo com os dados da Estação Meteorológica de João Pessoa/INMET, choveu um total anual de 2355,2 mm em 2011.

No mês de junho choveu 484,7 mm, sendo que a média de 30 anos (1991 a 2020) para o mês é de 287,99 mm. Na **Figura 30** observa-se a distribuição da chuva durante o mês de maio de 2011. No episódio do dia 20/05/2011 com chuvas de 165 mm em 24 horas, o volume é muito elevado para um período tão curto de tempo e representa um pouco mais da metade da chuva normal para todo o mês de maio, correspondendo a aproximadamente 34% da precipitação total mensal para o ano de 2011.

Este foi o maior volume de chuva acumulado em 24 horas neste ano em João Pessoa. A situação foi de alerta no litoral da Paraíba e também em áreas da Zona Mata e do Agreste paraibano. Em relação aos danos ocasionados não foram encontrados registros que pudessem informar, porém como citado no índice 6.4 para esse evento o CPTEC/INPE disponibiliza a Carta Sinótica de Superfície (Figura 31).

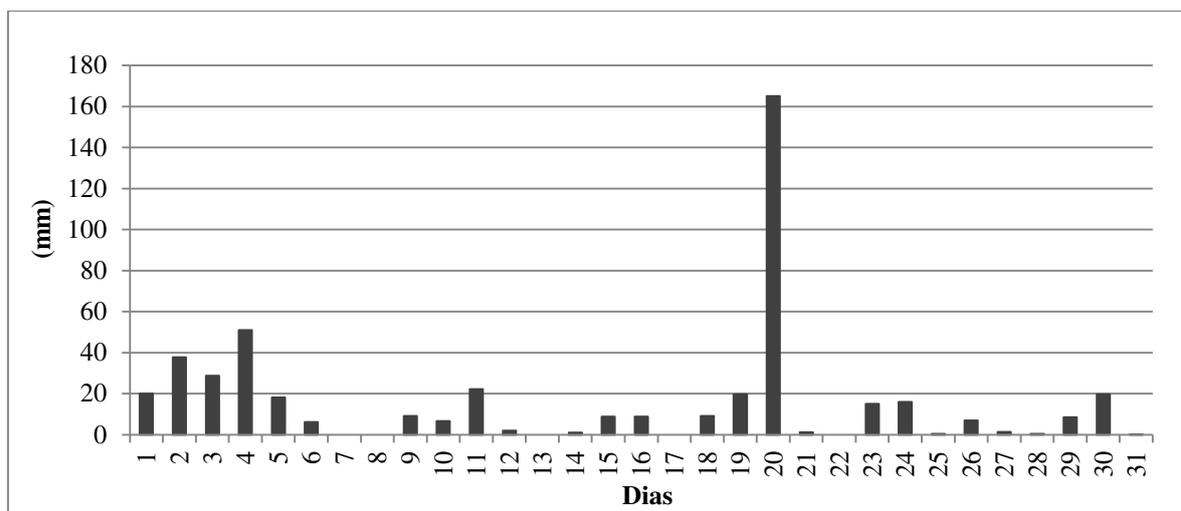


Figura 30 - Precipitação do mês de maio de 2011, evidenciando o episódio do dia 20/05/2011.  
 Fonte: Estação Meteorológica de João Pessoa/INMET.  
 Organização: Shayenny Alves de Medeiros.

Na análise da carta sinótica (Figura 31) das 12 UTC do dia 20/05/2011, nota-se a presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) atuando em torno de 05°N no Oceano Atlântico, posicionada mais ao sul do Equador. Quanto mais ao sul e por mais tempo a ZCIT estiver posicionada, maior será a qualidade da estação chuvosa no NEB (UVO; NOBRE 1989), possivelmente, foi a responsável pelas chuvas intensas nesse dia. Também é possível observar uma Frente Estacionária próxima ao norte do Nordeste Brasileiro, que é um tipo de frente que resulta quando uma frente fria ou quente deixa de se mover e quando existe ar úmido e quente que se eleva sobre o ar frio, nebulosidade com precipitações leves podem cobrir uma vasta área.

Além dessas configurações existe um sistema de Alta Pressão (1027 hPa) situado no Oceano Atlântico mais próximo da região sul e sudeste do país, áreas sob a influência de alta pressão ficam com pouca ou nenhuma nebulosidade, com menor umidade no ar, com tempo seco, e com isso, sem chuvas. Destaca-se uma Frente Fria sobre a Argentina, esse tipo de frente possui baixa pressão e uma alta pressão, que é notável na carta, a massa polar é a alta pressão (1027 hPa) e a região de muitas nuvens e chuva da frente fria é a baixa pressão (991

hPa). Percebe-se também a presença de Cavados no Oceano Pacífico próximo ao sul da Argentina e Chile.

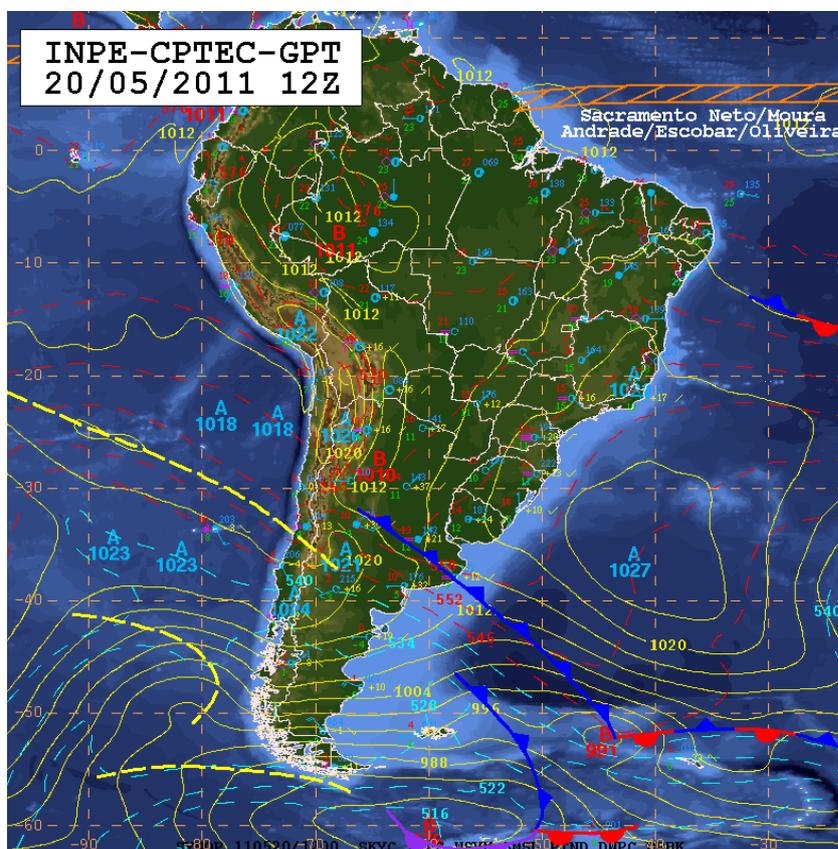


Figura 31 - Carta Sinótica de Pressão do dia 20/05/2011.

Fonte: CPET/INPE, 2021.

#### 6.4.4 Episódio de 28/06/2012 – 151,6 mm.

Assim como o 2000 o ano de 2012 foi considerado um ano de índices pluviométricos abaixo da média histórica (aproximadamente 35% a mais), com um total anual de 1651,2 mm. No mês desse episódio choveu 493,5 mm. A distribuição da chuva durante o mês de junho de 2012 está na [Figura 32](#), se evidencia o episódio do dia 28/06/2012 com chuvas de 151,6 mm em 24 horas, o qual corresponde a aproximadamente 31% da precipitação total mensal. Se destacam ainda dois eventos extremos nos dias 07, 20 com chuvas de 131,0 mm e 111,4 mm, respectivamente.

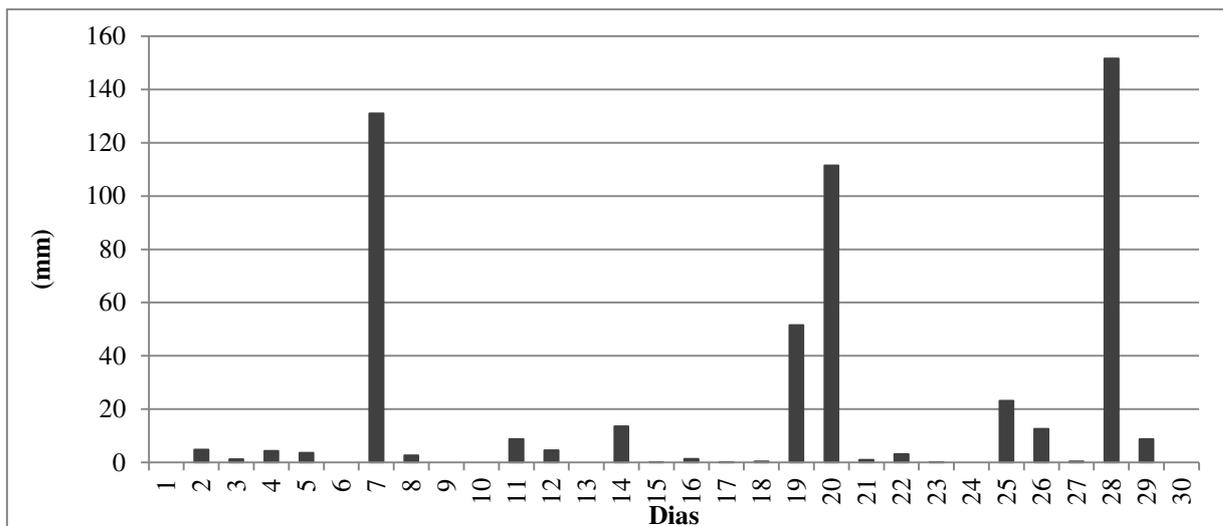


Figura 32 - Precipitação do mês de junho de 2012, evidenciando os episódios dos dias 07, 20 e 28/06/2012.

Fonte: Estação Meteorológica de João Pessoa/INMET.  
Organização: Shayenny Alves de Medeiros.

O jornal G1-Paraíba relatou os estragos ocasionados pelas chuvas em João Pessoa e na região metropolitana, ruas ficaram alagadas, deslizamentos de barreiras, quedas de árvore, além de gerar congestionamento no trânsito. Esse foi o cenário na manhã do dia 28 em nas ruas. Segundo a Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba (AES/A), choveu 76,4% acima da média do mês.

A assessoria de imprensa da Superintendência Municipal de Mobilidade Urbana (SEMOB) informou que, foram registrados nove pontos de congestionamento provocados por conta da chuva. A Defesa Civil também averiguou deslizamentos nas comunidades São Rafael, no bairro Castelo Branco, e Timbó, nos Bancários. Além desses casos, houve congestionamento no Varadouro, no Parque Sólon de Lucena, Avenida Beira Rio, Castelo Branco, Água Fria, Bancários e Torre, a SEMOB também identificou três colisões, sendo uma na giratória da Universidade Federal da Paraíba, uma na ladeia do Rangel e outra em um cruzamento do bairro Cabo Branco, ocorreu deslizamento de uma parte da barreira localizada às margens da BR-230. Segundo a Defesa Civil, famílias que estavam em moradias de risco nas comunidades São Rafael e Timbó foram retiradas para abrigos provisórios, onde recebem assistência da Prefeitura Municipal de João Pessoa.

Na carta sinótica é possível notar as condições atmosféricas para o dia 28/06/2012, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) atuando em torno de 05°N no Oceano Atlântico, posicionada mais ao sul do Equador, com sistemas de alta pressão, frentes frias bem

semelhantes do episódio do dia 20/05/2011. Percebe-se ainda que, no leste do Brasil um cavado se estende sobre o Atlântico adjacente.

De acordo com o CPTEC/INPE, a atuação de um sistema meteorológico conhecido como Distúrbio Ondulatório de Leste favoreceu a presença de ventos úmidos do oceano, que contribuiu com maior umidade e reforçou as áreas de instabilidade, resultando em acumulados significativos de chuva na faixa leste do Nordeste do Brasil.

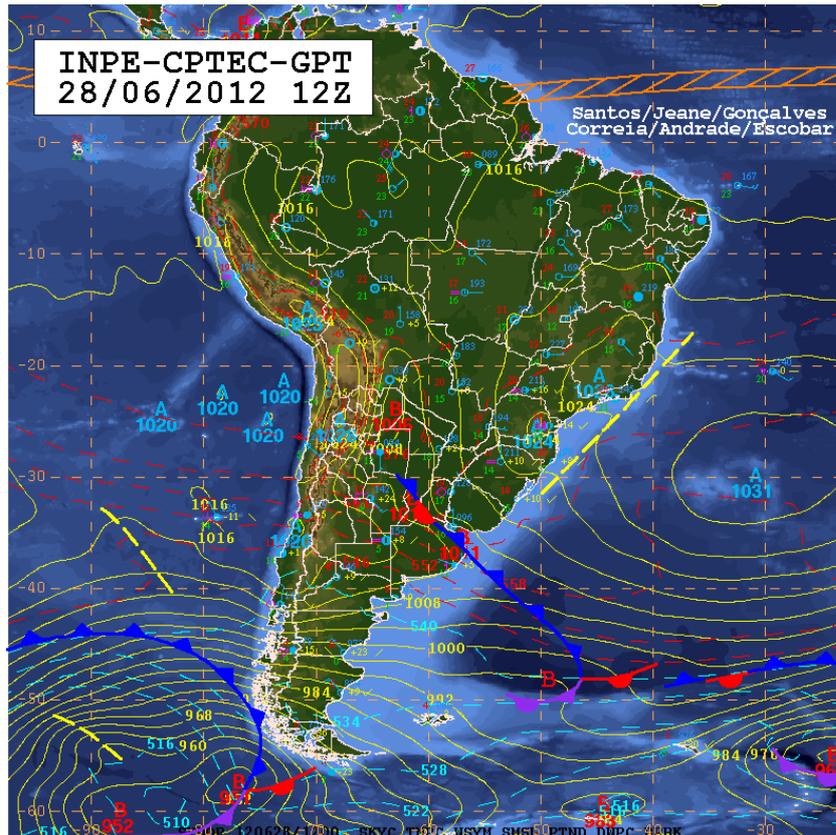


Figura 33 - Carta Sinótica de Pressão do dia 28/06/2012

Fonte: CPET/INPE, 2021.

#### 6.4.5 Episódio de 04/09/2013 – 159,2mm.

Do mesmo modo que 1996 e 2011 foram considerados anos com índices pluviométricos acima da média histórica, o ano de 2013 também (aproximadamente 20% a mais), com um total anual precipitado de 2174,7mm. No mês de setembro choveu 287,5 mm. A Figura 34 mostra a distribuição da chuva durante o mês de setembro de 2013, o episódio do dia 04/09/2013 com chuvas de 159,2 mm em 24 horas, que corresponde a aproximadamente 55% da precipitação total mensal.

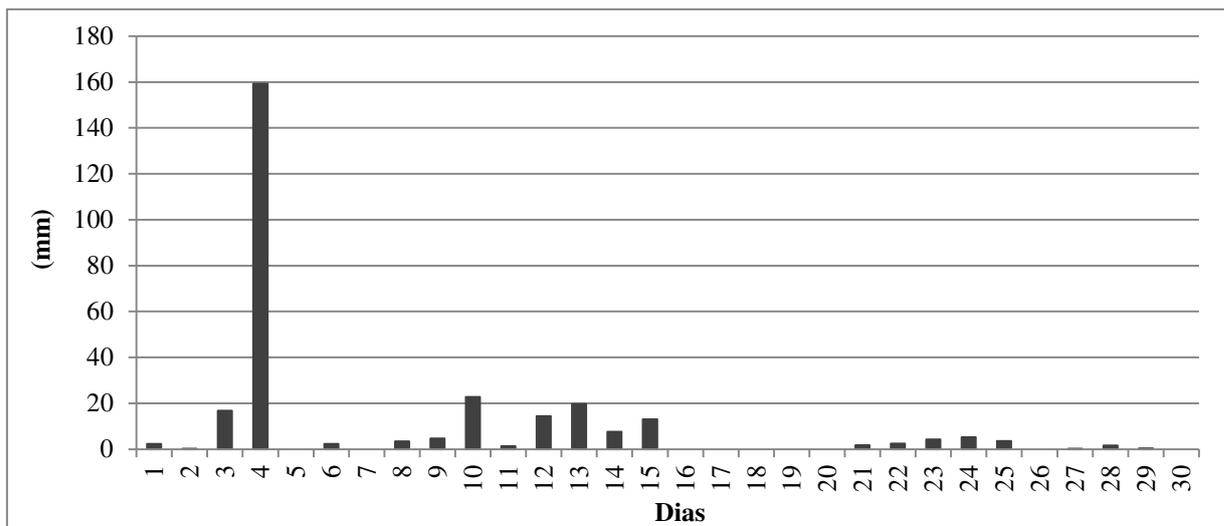


Figura 34- Precipitação do mês de setembro de 2013, evidenciando o episódio do dia 04/09/2013.

Fonte: Estação Meteorológica de João Pessoa/INMET.  
Organização: Shayenny Alves de Medeiros.

As chuvas que duraram mais de 15 horas seguidas na cidade de João Pessoa entre os dias 3 e 4 deixando pelo menos mil pessoas desabrigadas, a maior parte deles residia em comunidades ribeirinhas, como o bairro São José. Essas chuvas provocaram diversos transtornos à população como alagamentos, congestionamentos, desabamentos, a Defesa Civil atendeu cerca de 30 chamados em toda a cidade durante esses dias. A maior parte dos desabrigados pertenciam as comunidades ribeirinhas, como o bairro São José, onde as águas do Rio Jaguaribe transbordaram, inundando as casas, da mesma maneira ocorreu na Comunidade do S. No bairro dos Bancários, um poste tombou e ruas próximas ficaram às escuras. A Lagoa do Parque Sólon de Lucena, no Centro de João Pessoa, transbordou e o trânsito praticamente parou no local. Alagamentos foram registrados no bairro do Varadouro.

Na carta sinótica é possível notar as condições atmosféricas para o dia 04/09/2013, com a presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) oscilando em torno de 08°N/10°N no Pacífico e atuando em torno de 08°N no Oceano Atlântico, posicionada mais ao norte do Equador, tal sistema provavelmente, não deve ser o responsável pela precipitação do dia 13. Segundo Climanalise esses eventos chuvosos estavam associados à propagação de um Distúrbio no Escoamento de Leste.

Já o meteorologista da Defesa Civil, Carlos Magno, apontou que as chuvas que atingiram João Pessoa foram resultantes de áreas de instabilidade no Oceano Atlântico que se deslocaram em direção ao continente.

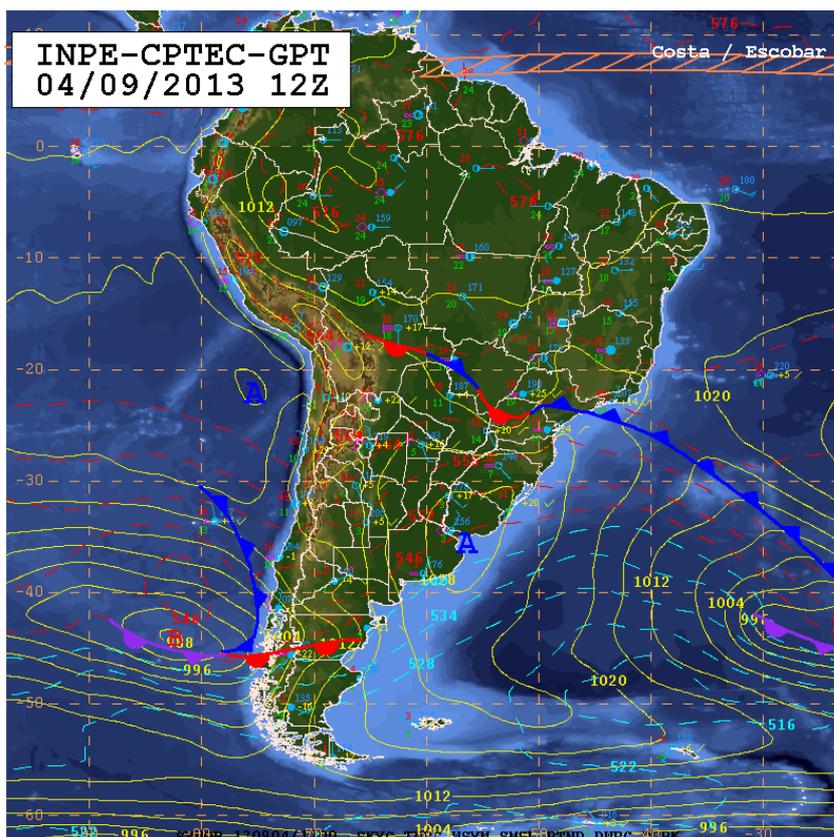


Figura 35 - Carta Sinótica de Pressão do dia 04/09/2013  
Fonte: CPET/INPE, 2021.

#### 6.4.6 Episódio de 14/06/2019 –182,4 mm

O ano de 2019 foi considerado um ano de índices pluviométricos acima da média histórica (aproximadamente 18% a mais). Com base nos dados da Estação Meteorológica de João Pessoa/INMET, em 2019 choveu um total anual de 2135,4 mm. No mês de junho 659,6 mm, sendo que a média de 30 anos (1991 a 2020) para o mês é de 367,58 mm.

Reforça-se que, esse mês tem a segunda maior média mensal da série em estudo, com 5 casos de precipitações extremas acima de 50 mm, somaram 530,2 mm, como nos dias 13 e 14, nos quais choveram 327,6 mm na cidade de João Pessoa, essas precipitações se estenderam por um período de oito dias, durante os dias 10 a 18, registrando um acumulado de 563,6 mm, 85,44% do total mensal.

A **Figura 36** mostra a distribuição da chuva durante o mês de junho de 2019, o dia 14/06/2019 com chuvas de 182,4 mm em 24 horas, o qual corresponde a aproximadamente 28% da precipitação total mensal.

João Pessoa recebeu 209,6 mm de chuva nas 24 horas ente os dias dia 13 e 14 de junho. Esta foi a maior quantidade de chuva em 24 horas nesta capital em 2019 e também o

terceiro maior volume em 24 horas para junho desde 1981, em 40 anos de medições do INMET. O terceiro maior volume em 24 horas para junho desde 1981, em 38 anos de medições do INMET. A maior quantidade de chuva em 24 horas em junho em João Pessoa, no período de 1981 a 2020 foi de 194,0 mm entre os dias 17 e 18 de junho de 1986.

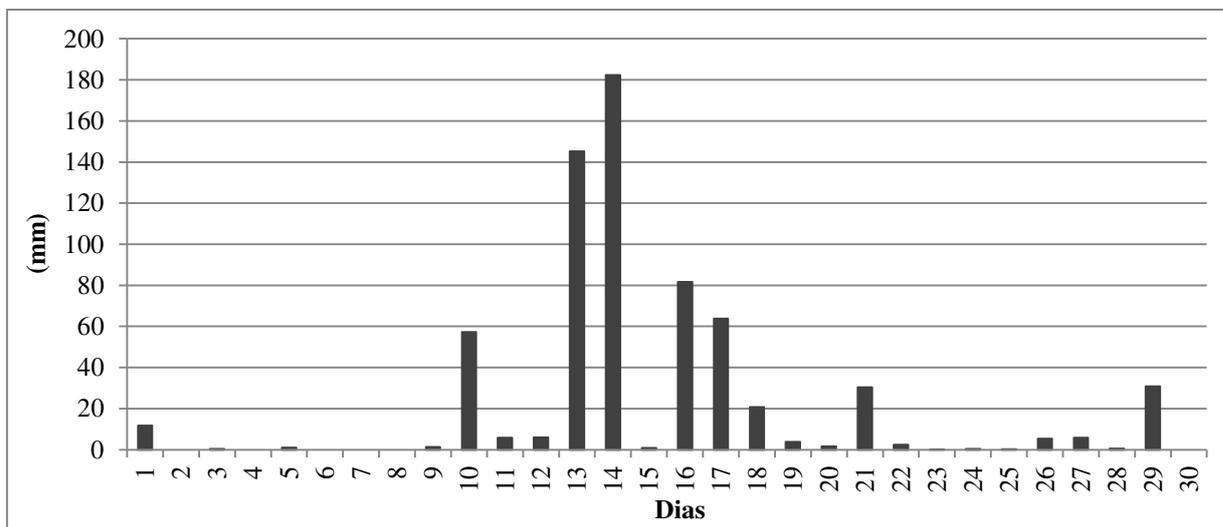


Figura 36 - Precipitação do mês de junho de 2019, evidenciando o episódio do dia 14/06/2019.

Fonte: Estação Meteorológica de João Pessoa/INMET.  
Organização: Shayenny Alves de Medeiros.

Conforme Climanalise esses eventos chuvosos estavam associados áreas de instabilidade no Oceano Atlântico, com nuvens mais densas e com potencial para chuvas moderadas e fortes ventos de leste/sudeste em baixos níveis influenciaram o acumulado de chuva de acordo com CPTEC/INPE. Na análise da carta sinótica de superfície das 12 UTC do dia 14/06, nota-se um sistema frontal sobre o Atlântico sul, com centro de alta pressão no valor de 1024 hPa, no Oceano Atlântico a ZCIT oscila em torno de 06°N/08°N.

As chuvas causaram uma série de transtornos na capital, afetam diversas famílias, na Comunidade São Rafael as casas alagaram, afetando diretamente mais de 60 famílias. A Defesa Civil registrou que pelo menos de 30 famílias ficaram desalojadas, já o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) estimou que 4460 pessoas em 1120 moradias estivessem em risco. Além de outros danos como alagamentos, congestionamentos e desmoronamento de barreiras, este último dano afetou principalmente a população que vive em áreas de risco acima das barreiras.

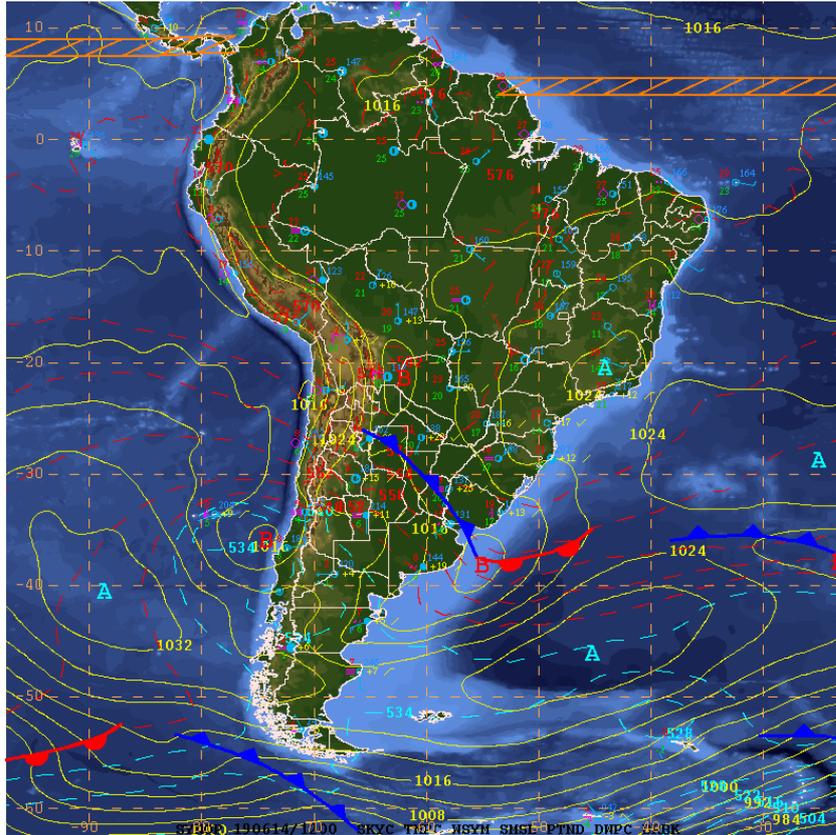


Figura 37 - Carta Sinótica de Pressão do dia 14/06/2019  
Fonte: CPET/INPE, 2021.

## 6.5 CLASSIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO HORÁRIA

Para a cidade de João Pessoa, percebe-se a ocorrência de chuvas em todos os horários do dia e uma diferenciação no horário preferencial para a ocorrência ou não das mesmas, como visualizado na Figura 38. De acordo com a literatura, existe um padrão com relação às chuvas horárias que modificam de acordo com a localização geográfica.

Ao analisar a Figura 38 em maior detalhe, percebe-se que os municípios de João Pessoa apresentam o horário de maior ocorrência das chuvas é às 06h00min horas. Em geral, esse padrão vai de encontro ao analisado por Albuquerque *et al.* (2013), para o município de Recife, em que os horários de maiores frequências de chuva foram 06:00 e 07:00 horas. Além desses, destaca-se também os trabalhos de Kousky (1980), Janowiak, Kousky e Joyce (2005) e Teixeira (2008), entre outros, em que analisaram que as localidades próximas ao oceano apresentam as maiores incidências de chuvas ao final da noite e início da manhã.

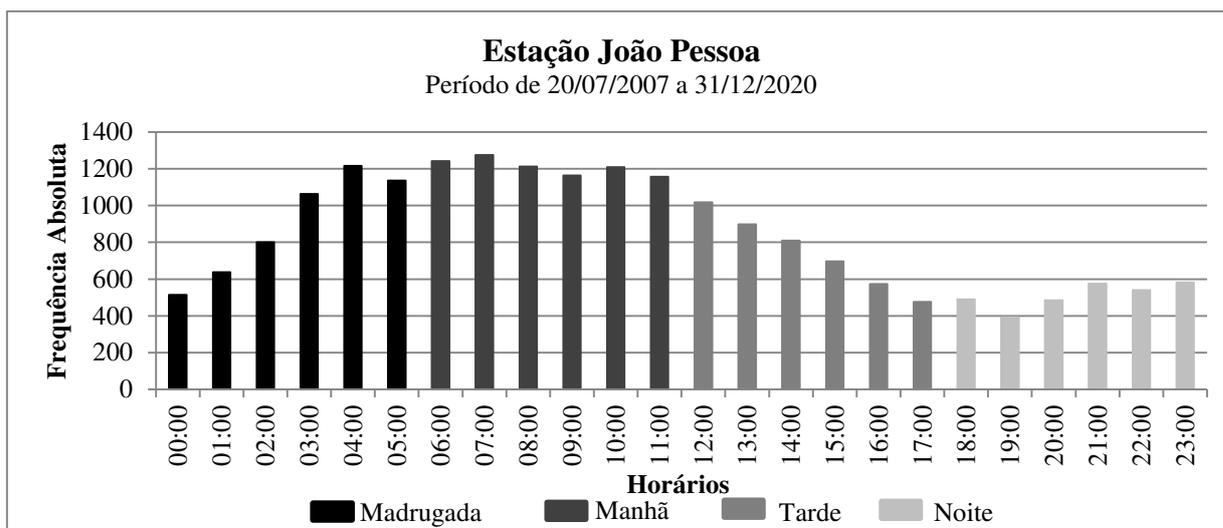


Figura 38 - Ciclo diurno da precipitação para a EMA de João Pessoa, período 2007 a 2020.

Fonte: Estação Meteorológica de João Pessoa/INMET.

Organização: Shayenny Alves de Medeiros.

Baseados na Figura 38 e analisando a Tabela 12 acerca dos turnos preferenciais ou não para as chuvas na localidade, através de valores absoluto e relativo para uma melhor visualização, João Pessoa apresenta maior frequência no turno da manhã, destacando o horário das 07:00 da manhã com a maior precipitação total (1274,6 mm) para o período de análise.

Tabela 12 - Frequência das chuvas a partir de 0,2 mm/hora por turnos do dia e o total precipitado em cada horário.

<b>Estação - João Pessoa</b>				
<b>Horário</b>	<b>Ocorrências</b>		<b>Precipitação Total (mm)</b>	
	<b>Absoluto</b>	<b>(%)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(%)</b>
Madrugada	2404	25%	5364,8	26,60%
Manhã	3323	34,56%	7256,4	35,98%
Tarde	2245	23,35%	4470,6	22,17%
Noite	1644	17,09%	3073,8	15,25%
<b>Total</b>	<b>9616</b>	<b>100%</b>	<b>20165,6</b>	<b>100,00%</b>

Organização: Shayenny Alves de Medeiros.

Quanto aos períodos do dia que menos chovem, destaca-se o turno da noite como o que menos chove seguido do turno da tarde. Os horários que se destacam no turno da manhã são 06:00, 07:00 e 08:00 horas, contabilizando uma precipitação de 3728,2 mm. Esse ciclo diário evidencia a importância da circulação de brisa terrestre, que se dirigem 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 2–09 HL. Dentro da distribuição começa uma diminuição da precipitação do turno da tarde, a partir das 11h00minhs (1156 mm) até as 19h00minhs (393,4 mm) com o menor total precipitado.

### 6.5.1 Análise da intensidade da chuva horária

Quanto à intensidade, foram utilizadas cinco classes indicadas por  $\text{mm.h}^{-1}$ , iniciando em Fraca, com dados a partir de 0,2 mm/hora, até a muito forte destinada àquelas chuvas superiores ou iguais a 45,0 mm/hora.

A Figura 39 auxilia na visualização de como os dados horários estão distribuídos em cada classe, as maiores ocorrências chuva em João Pessoa estão inseridas dentro da classe Fraca (de 0,2 mm/hora até 1,0 mm/hora), representando 59,38% de todos os dados utilizados nesta pesquisa. Seguindo nas demais classes de intensidade, numa regressão até as chuvas muito fortes, muitas pesquisas apontam as brisas como as responsáveis pelas chuvas horárias quando são de baixa intensidade, uma vez que, tal sistema atmosférico não apresenta força o suficiente para provocar fortes chuvas (TEIXEIRA, 2008). Baseando-se em pesquisas, porém reconhecendo a necessidade de estudos posteriores para comprovar, se supõe que as chuvas até a classe de intensidade Moderada (de 1,0 mm/hora até 4,0 mm/hora), o que corresponde a 27,36% do total dos dados, podem ser justificadas por influência das brisas.

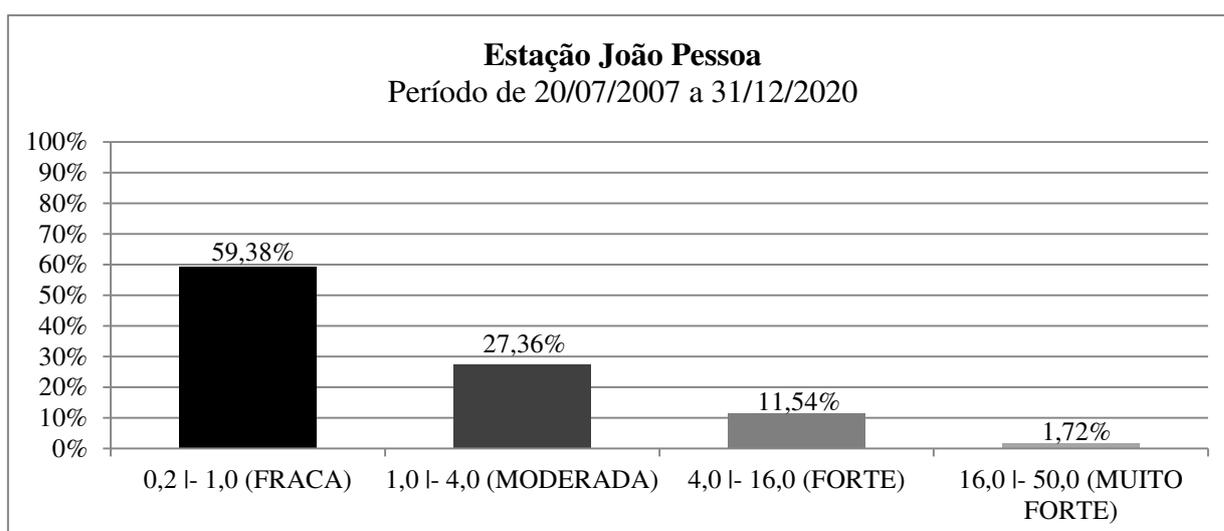


Figura 39 - Distribuição percentual da intensidade da chuva ( $\text{mm.h}^{-1}$ ) para a EMA de João Pessoa, período 2007 a 2020.

Organização: Shayenny Alves de Medeiros.

Ao observar a distribuição da intensidade mês a mês para a localidade foi possível perceber que para a EMA, as chuvas inseridas nas classes Fraca, Moderada, Forte e a Muito Forte ocorreram mais vezes na estação chuvosa, e a Muito Forte tiveram menos destaque no período de agosto a janeiro.

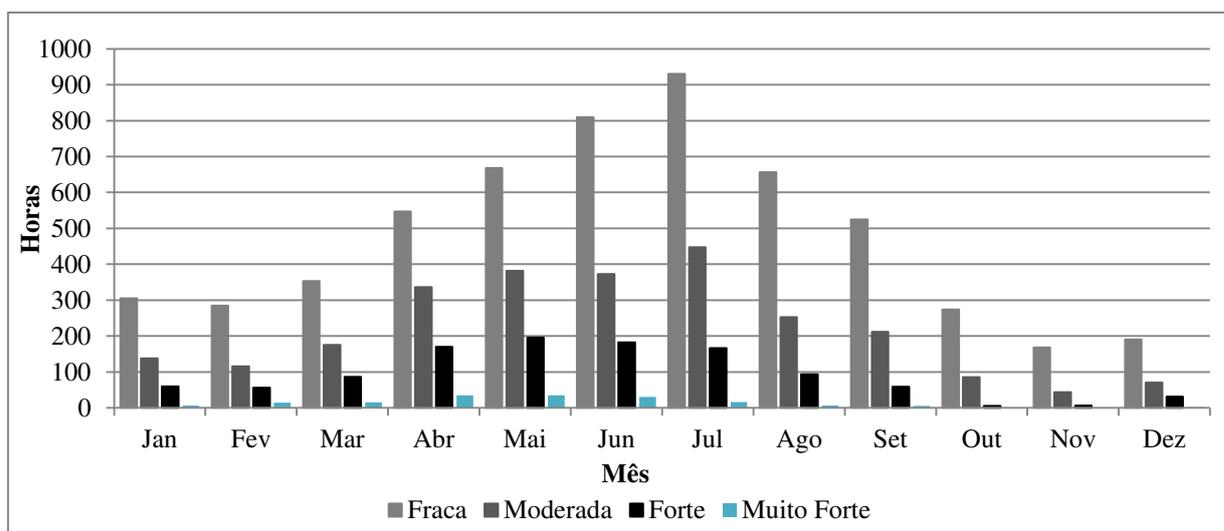


Figura 40 - Distribuição mensal da intensidade da chuva (mm.h-1) para a EMA de João Pessoa, período 2007 a 2020.  
Organização: Shayenny Alves de Medeiros.

### 6.5.2 Precipitação máxima

Após o tratamento anteriormente comentado dos dados da EMA/INMET localizada em João Pessoa, foram selecionados quinze totais pluviométricos máximos para o município, como apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Valores das 15 maiores precipitações horárias para a EMA analisada, 2007-2020.

ESTAÇÃO AUTOMÁTICA	DIA	HORA	PRECIPITAÇÃO (MM)	PERÍODO DE OCORRÊNCIA
JOÃO PESSOA	23/05/2020	03:00	45,0	Pré-Chuvoso
	02/05/2017	21:00	44,8	Chuvoso
	30/03/2008	04:00	44,0	Pré-Chuvoso
	01/04/2019	03:00	41,8	Pré-Chuvoso

	22/02/2009	05:00	41,4	Pré-Chuvoso
	03/05/2009	16:00	41,0	Chuvoso
	12/04/2011	06:00	40,8	Pré-Chuvoso
	28/06/2017	13:00	39,4	Chuvoso
	20/04/2019	15:00	37,8	Pré-Chuvoso
	13/06/2019	05:00	37,8	Chuvoso
	30/04/2017	04:00	37,2	Pré-Chuvoso
	06/02/2019	19:00	36,2	Pré-Chuvoso
	23/05/2020	04:00	35,8	Chuvoso
	30/05/2016	15:00	35,6	Chuvoso
	20/04/2008	09:00	35,2	Pré-Chuvoso

Organização: Shayenny Alves de Medeiros.

Dentre todos os eventos apresentados, mais de 50% das precipitações máximas sucederam durante a madrugada. Ressaltando a máxima precipitação horária que ocorreu no dia 23/05/2020, destaca-se que o INMET emitiu um alerta vermelho para a cidade, classificando como de grande perigo, por causa das chuvas intensas, aproximadamente 150 mm foram registrados, conforme dados da Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs), esse total precipitado correspondeu à metade do total esperado para o mês de maio, a meteorologista da AESA, Marle Bandeira afirmou que, essas chuvas foram devido às águas do Oceano Atlântico estarem mais aquecidas que o normal, o que favoreceu a formação de aglomerados de nuvens, que se deslocaram do mar para a costa da Paraíba. A situação da cidade ficou caótica, a Defesa Civil da cidade citou que as áreas mais afetadas foram às comunidades nos bairros Esplanada, Valentina e Colinas do Sul, na Zona Sul, e em Mandacaru, na Zona Norte, onde tinham diversos pontos de alagamentos.

## 7 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados concluiu-se que, na análise da variabilidade anual a Técnica dos Quantis caracterizou os totais anuais em cinco classes pluviométricas: Muito Seco (MS), Seco (S), Normal (N), Chuvoso (CH) 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.

Permitiu à verificação dos anos extremos de precipitação, o máximo ocorreu em 1994 (2725,5 mm), caracterizando como Muito Chuvoso, nesse ano o Fenômeno El Niño estava atuando, o que não indica interferência na precipitação. A mínima média anual ocorreu no ano de 1991 (972,9 mm) com valor abaixo da média histórica da cidade, classificando-o como muito seco e de ocorrência de El Niño com intensidade Forte, de acordo com o CPTEC. O período com maior total precipitado para toda a série se deu nos anos 2001-2010, com 34,20% do total da série.

Nos meses de abril a julho se tem: os picos máximos das médias mensais de precipitação. Nos resultados para o IAC o índice positivo indica um mês em que a precipitação total foi maior que a média da precipitação mensal da série de dados, ou seja, um ano mais chuvoso ou úmido, enquanto que o índice negativo refere-se ao comportamento oposto. A análise estatística possibilitou a determinação das intensidades positivas e negativas dos meses, classificando-os como: Umidade extremamente alta, Umidade alta, Umidade moderada, Umidade baixa, Seca suave, Seca moderada, Seca alta, Seca extremamente alta. Para a série foram registrados 151 meses positivos (úmidos) e 209 negativos (secos), as maiores frequências positivas ocorreram na quadra chuvosa de João Pessoa que é de abril a julho, com 14 anomalias positivas.

Os valores extremos do IAC foram detectados nos meses de julho/2016 com (-5,16) e setembro/2013 (9,93), suas intensidades classificadas como Seca extremamente alta e Umidade extremamente alta, respectivamente. Destaca-se o ano de 2013, o qual não ocorreu à atuação dos fenômenos El Niño e La Niña, definindo-se como um ano neutro, o que indica que outros sistemas atmosféricos foram a gênese das elevadas precipitações que definiram esse ano como extremamente úmido. Setembro foi responsável pelo maior número de anomalias negativas.

Para a cidade de João Pessoa no período de estudo foram contabilizados 5722 dias com precipitação, destacando o ano de 1996 com o maior registro de dias chuvosos (229

dias), em relação aos meses observou-se o total de 524 dias com precipitações mês de julho, e os menores quantitativos no mês de novembro com 227 dias, para os 30 anos de estudo.

Verificou-se 177 eventos, dentre eles, 132 nos meses que compõem o quadrimestre chuvoso, nesse período sempre há ocorrências de deslizamentos e muitos pontos de alagamentos, causando inúmeros transtornos à população que reside nas áreas de risco da cidade. Entretanto, mesmo desconsiderando os valores extremos, quando esta chuva ocorre por dias seguidos, também há riscos de desastres.

Os meses com nenhum registro de eventos fazem parte do período seco (outubro e novembro), o mês de dezembro ainda registrou um extremo. Os anos com os maiores números de eventos extremos foram 1994 e 2009, ambos com 12 eventos identificados. Seis episódios com precipitações diárias acima de 150 mm, onde foi possível relatar as particularidades de cada dia.

Observou-se um número significativo de eventos extremos e de impactos pluviais na capital Paraibana que geraram diversos danos à população causando prejuízos econômicos, ambientais e materiais, afetando diretamente o bem-estar e a segurança dessas famílias, principalmente, as que vivem em áreas de risco. Os casos registrados de alagamentos, deslizamentos, congestionamentos, desabamentos dentre outros, que geraram um caos aos habitantes da cidade. Nos episódios estudados foi possível inferir os sistemas atmosféricos associados a essas chuvas, a partir de informações de órgãos responsáveis pelo monitoramento de chuvas e desastres, informações de jornais locais também auxiliaram a compreender a situação que se encontrava a cidades nesses dias chuvosos.

É recomendável o uso das Cartas Sinóticas que para uma melhor compreensão do que na atmosfera em dia de eventos extremos, com isso, conclui-se que é de grande importância e necessidade entender e obter imagens de pelo menos dois dias antes do evento, dessa maneira se tem uma visão melhor da atmosfera e como os sistemas meteorológicos estavam atuando em determinada área e sua evolução nesse período e assim, afirmar a gênese das chuvas dos determinados eventos extremos de precipitação. Podendo observar essas cartas para diferentes níveis de pressão como 250,500 ou 850 hPa.

No período entre o final da noite e início da manhã apresenta sua frequência máxima, evidenciando a importância da circulação da brisa terrestre, na cidade de João Pessoa. O horário de maior ocorrência de precipitação é às 06h00min, inserido no turno da manhã, nesse período destaca-se o horário das 07h00min que registrou o máximo precipitado (1274,6 mm). O turno da manhã detém a maior frequência de chuva com um valor aproximado de 35% (3323 registros de precipitações) com um total acumulado de 7256,4 mm. De maneira oposta

o turno com menor frequência e total de precipitações ocorre durante a noite com apenas 3073,8 mm, distribuídos em 1644 ocorrências (17,09%) do total.

Em relação à intensidade a precipitação horária foi classificada nas seguintes classes: Fraca, Moderada, Forte e Muito Forte. A classe que tem 60% dos registros possui um intervalo de precipitação de (0,2 mm/hr até 1,0 mm/hr), distribuídos em grande parte na quadra chuvosa da cidade. Foram identificadas as máximas precipitações horárias e teve-se como extremo o precipitado do dia 23/05/2020 às 03h00minhrs (45 mm).

Assim, nota-se a importância de desenvolver estudos sequenciais a este, priorizando chuvas diárias juntamente com as análises horárias associadas à observação da atmosfera de determinado dia, compreendendo o comportamento da precipitação para auxiliar tanto a população quanto aos Órgãos Públicos na administração de diferentes atividades e decisões, além de ajudar na redução e na prevenção de inúmeros prejuízos, tanto quanto em períodos chuvosos como de períodos secos, assim amenizando os impactos que a população sofre.

Logo, as pesquisas nesse âmbito são de grande valor e contribuem de maneira positiva para todos os habitantes da cidade, já que podem auxiliar o trabalho da Defesa Civil, na ocorrência de desastres.

## 8 REFERÊNCIAS

ALVES, *et al.* Índice de anomalia de chuva para diferentes mesorregiões do estado de Pernambuco. **Pensar Acadêmico**, Manhauçu, v. 14, n. 1, p. 37-47, janeiro-junho, 2016.

ALVES, J. M. B.; DINIZ, M. C. S. Um Estudo Preliminar de possíveis efeitos de Mudanças Climáticas no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, n. 2, p. 11-18, 2009.

ALVES, A.S., ARAÚJO, L.E, 2015. Avaliação climática da precipitação da bacia hidrográfica do rio Camaratuba – PB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2015.

ANDREOLI, R.V, *et al.* A Influência da Temperatura da Superfície do Mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na Variabilidade de Precipitação em Fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.2, 113-122, 2004.

ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n.1, p.63-74, 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.

ARAGÃO, J. O. R. O impacto do ENOS e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. *Boll. Inst. Fr. Etudes Andines*, v.27, n.3, p.839-844, 1998.

ARAGÃO, J. O. R. **Um Estudo da Estrutura das Perturbações Sinóticas no Nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1975. 51p.

ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Análise Climática da Bacia do Rio Paraíba - Índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 3, p.508-523, 2009.

ARAÚJO, M. O. L; ALBUQUERQUE, M. G; LUCENA, D. B. Análise da precipitação horária no litoral paraibano. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. **Geografia Física e as Mudanças Globais**. Fortaleza: Editora UFC, v. 1, p. 1 – 12. 2019.

ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J.M.; SOUSA, F.A.S. Classificação da precipitação anual e da quadra chuvosa da bacia do rio Paraíba utilizando Índices de Anomalia de Chuva (IAC). **Revista Ambiente & Água – an Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.4, n.3, 2009.

ARAÚJO, L. E.; SILVA, D. F; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação na Bacia do Rio Paraíba usando IAC. **Revista de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 47-59, 2007.

ARAÚJO, L. E.; SOUSA, F. DE A.S; RIBEIRO, M. A. DE F. M; SANTOS, A. S; MEDEIROS, P. S. Análise Estatística de Chuvas Intensas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, 162-169, 2008.

ASSIS, J., W. SOUZA, AND M. DO C. SOBRAL. “Análise Climática da Precipitação no Submédio da Bacia do Rio São Francisco com Base no Índice de Anomalia de Chuva”. **Brazilian Journal of Environmental Sciences** (Online), no. 36, June 2015, pp. 115-27.

BARBOSA, M. R. V. *et al.*- **Checklist das Plantas do Nordeste brasileiro: Angiospermas e Gimnospermas**. Brasília, Ministério de Ciência e Tecnologia. 156p. 2006.

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.; 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.

BENISTON, M., STEPHENSON, D. B., 2004. Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions. **Global Planet Change** 44, 1–9.

BRAGA, C. C.; SILVA, B. B. Determinação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado da Paraíba. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 6, Salvador. Anais... Salvador, 1990. p.200-205.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Anuário brasileiro de desastres naturais: 2011 - **Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres**. - Brasília: CENAD, 2012. 82p.

BROWNING, K.A.; LUDLAM, F.H. Airflow in convective storms, **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 88, p. 117-135, 1962.

CALBETE, N. O.; SATYAMURTY, P.: Vórtices Ciclônicos da Alta Troposfera que atuam Sobre a Região Nordeste do Brasil. **Climanálise Especial 10 anos**, p. 168-172, 1996.

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.

CAVALCANTE, G. DE P.; TEMOTEO, K. K. S. Desastre natural associado a evento de chuva intensa no município de Caldas Brandão, Paraíba. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, p. 84-98, 23 maio 2018.

CAVALCANTI, A. S. **Avaliação de padrões atmosféricos associados à ocorrência de chuvas extremas no litoral da região Nordeste do Brasil: aspectos numéricos na previsão operacional do tempo**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de

Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

CAVALCANTI, I. F. A. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CAVALCANTI, I. F. A. **Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escalasinótica e circulações locais**. São José dos Campos, INPE – 2494 – TDL/097, 1982.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DA SILVA, M. G. A. J.; SILVA DIAS, M. A. F.; **Tempo e clima no Brasil**, São Paulo: **Oficina de Textos**, 2009.

CEPAL - Comisión Económica para América Latina y el Caribe. **Un tema del desarrollo: la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres**. Marzo, 2000.

CHAN, C. S. **Análise de distúrbios ondulatórios de leste sobre o oceano Atlântico Tropical Sul**. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos/SP: INPE, 1990.

CHANG, C.P. Westward propagating cloud patterns in the tropical Pacific as seen from time-composite satellite photographs. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 133-138, 1970.

CHRISTENSEN, O. B.; CHRISTENSEN, J. H. 2004. Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate. **Global and Planetary Change** 44, 107–117.

CHUNG, J. C. 1982. Correlations between the tropical Atlantic trade winds and precipitation in Northeastern Brazil. *Journal of Climatology of Northeast Brazil*. **Journal of climatology** 2, 35-46.

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

COSTA M.S.; LIMA K.C.; ANDRADE M.M.; GONÇALVES W.A. Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08 n. 05, p.1321-1334. 2015.

COSTA, J.A.; SILVA, D.F. Distribuição espaço-temporal do índice de anomalia de chuva para o estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1002-1013, 2017.

COSTA, M.; LIMA, K.; LIMA, C.; MATTOS, E.; GONÇALVES, W. (2019). Sistemas Convectivos de Mesosescala Associados a Eventos Extremos de Precipitação Sobre o Semiárido do Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**. v. 42. 317.10.11137/2019\_1\_317\_328.

DEFESA CIVIL. **Situação de emergência e estado de calamidade pública: reconhecimentos realizados**, 2016. Disponível em: <<http://www.mi.gov.br/reconhecimentos-realizados>> Acesso em: 27/11/2020 .

DUARTE, C. C.;NÓBREGA, S. R.; COUTINHO, Q. R. Climatológica e dos Eventos Extremos de Chuva No Município do Ipojuca, Pernambuco. **Revista de Geografia**, v. 32, No. 2, 2015.

EARNSSIDE, P. A. Ocupação Humana de Rondônia: Impactos, Limites e Planejamento. CNPq Relatórios de Pesquisa No. 5, **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)**, Brasília, Brasil, 76 pp. (in Portuguese). 1989.

FEARNSIDE, P.M. Monitoring needs to transform amazonian forest maintenance into a global warming mitigation option. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, 2(2-3), 285-302. 1997.

FECHINE, J. A. L.; GALVÍNIO, J. D. Aplicação do teste de Mann-Kendall na análise de tendência climáticas em anos de El Niño na bacia hidrográfica do Rio Belém. **Amazônia e o Clima Global** v.1,n.2, p.1-5, 2010.

FEDOROVA, N. **Meteorologia Sinótica**. Volume 2.. 1. ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária- UFPel, 2001. v. 1000. 242p.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. 2005. 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, p. 15-26.

FERREIRA, N. J.; CHAN, C. S.; SATYAMURTI, P. Análise dos distúrbios ondulatório de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 6., 1990, Salvador/BA, Anais... Rio de Janeiro/RJ: Cbmet, 1990 p. 462- 466.

FERREIRA, N. S., Zona de Convergência Intertropical. **Climanálise Especial**. Edição Comemorativa de 10 anos. FUNCEME. 136 – 139. 1996.

FIGUEIREDO, J. O. G. “**Distribuição espacial em Alagoas com ênfase à variabilidade causada pelos padrões de temperatura da superfície do mar**”. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Centro de Ciências Exatas e Naturais. Departamento de Meteorologia. UFAL. pp. 148. 2002.

FILHO, W.; EMANUEL R. A., L.; SANTOS, M. (2017). Caracterização de Extremos Anuais de Precipitação para o estado de Sergipe. **Revista de Geografia** (Recife). 34.

FRANÇA, J. R. A.; Li, L. Z.; SILVA, F. N. R.; JUNIOR, A. R. T. Sensibilidade do Modelo de Circulação Geral do LMD às variações na Temperatura da Superfície do Mar no Pacífico Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2000.

FREITAS, M. A. S. (2005). Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semiáridas. **Revista Tecnologia, Fortaleza**, v. Suplem, p. 84-95.

FREITAS, M. A. S. A Previsão de Secas e a Gestão Hidroenergética: O Caso da Bacia do Rio Parnaíba no Nordeste do Brasil. In: Seminário Internacional sobre Represas y Operación de Embalses, 2004, Puerto Iguazú. **Anais do Seminário Internacional sobre Represas y Operación de Embalses**. Puerto Iguazú : CACIER, v. 1. p. 1-1. 2004.

FREITAS, M. A. S. Um Sistema de Suporte a Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semiáridas. **Revista de Tecnologia/Fortaleza**, p. 19-30, n.19. 1998.

FREITAS, M. A. S. Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Áridas. **Revista Tecnologia, Fortaleza**, v. Suplem, p. 84-95, 2005.

FU, et al. Temporal variation of extreme rainfall events in China, 1961–2009. **Journal of Hydrology**, 487, p.48–59, 2013.

GAN, M.A. **Um estudo observacional sobre as baixas da alta troposfera nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e leste do Brasil**. Dissertação de Mestrado, INPE - 2685- TDL/126. 1982.

GOIS, G. *et al.* Variabilidade Anual e Mensal da chuva e da temperatura do ar no Município de Resende, Rio De Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 24, abr. 2019. ISSN 2237-8642.

GOLDEMBERG, J. Mudanças climáticas e desenvolvimento. 2000. ISSN 0103-4014.

GONÇALVES, N. M. S.. Aspectos do clima urbano de Salvador: uma análise da intensidade das chuvas e suas conseqüências socioespaciais. **Revista do Instituto Geográfico e Histórico da Bahia**, Salvador - Bahia, v. 99, p. 255-267, 2004.

GONÇALVES, R. C.; LAVIERI, M. B. F.; LAVIERI, J.; RABAY, G. **A questão urbana na Paraíba**. João Pessoa: UFPB, 1999. cap.2, p. 39-65

GOUVEA, R. L.; CAMPOS, C. C.; MENEZES, J. T.; MOREIRA, G. F. Análise de frequência de precipitação e caracterização de anos secos e chuvosos para a bacia do Rio Itajaí. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 309-323. 2018

GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R.G. Influência de eventos el niño e la niña sobre a frequência de eventos extremos de precipitação no Brasil XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. **CDrom**. 2004.

GROSS, J. A.; CASSOL, R. Ocorrências de Índices de Anomalia de Chuva negativos no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 21-33, 2015.

HÄNSEL S, MATSCHULLAT J. Drought in a ChangingClimate, SaxonDryPeriods. In: **Bioclimatology and Water in the Land.International Scientific Conference**, Strecno, Slovakia. 2006.

HASTENRATH, S. 1984. Predictability of Northeast Brazil Drought. **Nature**, 307: 531-533.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.103, p.77-92, 1977.

HASTENRATH, S. On modes of tropical circulation and climate anomalies. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 35, n. 12, p. 2222-2231, 1978.

HAYAKAWA, I. F.; ULTRAMARI, C. Situações de risco como definidoras de inflexões no planejamento e na gestão urbana: um estudo em Curitiba. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 16., 2008, Caxambu. **Anais...** Caxambu, 2008. Disponível em: <http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/download/1814/1773> . Acesso em: 10/06/2020.

HECHT, S.B. The logic of livestock and deforestation in amazonia. **BioScience**, 43(10), 687–695. 1993

HOUZE, R.A.; SMULL, B.F.; DODGE, P. Mesoscale organization of springtime rainstorms in Oklahoma, **Monthly Weather Review**, v. 118, p. 613-654, 1990.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25/11/2020.

INSTRUÇÃO NORMATIVA n. 1, de 24 de agosto de 2012. **Diário Oficial da União**. Seção 1, n. 169, quinta-feira, 30 de agosto de 2012. Disponível em: <http://bibspi.planejamento.gov.br/bitstream/handle/iditem/208/Instru%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20n1%2c%20de%2024%20agosto%20de%202012.pdf?sequence=1> . Acesso em: 25/11/2020.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE, C. IPCC. fourth assessment report climate change 2007. Geneva: **Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2007.

IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. **A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp., 2012.

JACOBI, P. **Dilemas socioambientais na gestão metropolitana: do risco à busca da sustentabilidade urbana**. Política & Trabalho, João Pessoa: UFPB, Mestrado em Ciências Sociais, n.25, p.115-134, out. 2006.

JANOWIAK, J. E., V. E. KOUSKY & R. J. JOYCE, 2005. Diurnal cycle of precipitation determined from the CMORPH high spatial and temporal resolution global precipitation analyses. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres** 110(D23): 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005JD006156>.

JOÃO PESSOA. Prefeitura Municipal de João Pessoa. Secretaria Municipal de Meio Ambiente-SEMAM. Disponível em: <http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/semam/>. Acesso em: 21/07/2020.

KEYANTASH J, DRACUP J. A. (2002): The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. **Bulletin American Meteorological Society**, p. 1167- 1180. August. 2002.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P.V. de OLIVEIRA.; MARCELINO, E. V.; GOLÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F. e RUDORFF, F. M. Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos básicos, Curitiba: Ed. **Organic Trading**, 109p, 2006.

KORMANN, A. C. M.; SESTREM, L. P.; PRETTO, J. H. F. Comportamento de Encostas no Estado de Santa Catarina: Revisão de Mecanismos Geológico-Geotécnicos e Estudo de Caso. In: **IX Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul - GEO SUL**, 2013, Criciúma. Disponível em: <<https://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/geosul2013criciuma/2013kormannsestrem.pdf>>. Acesso em: 20/11/2020.

KOSTOPOULOU, E., JONES, P. D. Assesment of climate extremes in the Eastern Meditterreanean. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 89, p. 69-85, 2005.

KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.107, n.9, p.1140-1153, 1979.

KOUSKY, V. E.; Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Mon. Weather Rev**, 108, 488-498, 1980.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper Tropospheric Cyclone Vortices in the Tropical South Atlantic. **Tellus**, v.33, p.538–550, 1981.

LAVIERI, J.; LAVIERI, M. B. F.. Evolução da Estrutura Urbana Recente de João Pessoa: em direção a seletividade na ocupação do Espaço –1960/1986. **Textos UFPB/NDIR**, n.º 29, 1992.

LIMA, K.C.; SATYAMURTY, P.; FERNÁNDEZ, J. P. R. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 101, p.121-135, 2010.

LIMA, S. S. J. ; SILVA, A. S.; BERNARDES, P. M.; FONSECA, A.S; PEREIRA, J. M. S. Variabilidade Espacial dos Percentis 75 da precipitação pluvial mensal no estado do Espírito Santo. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 24, p. 393-405, 2016.

LOBO, P. R. V. **Um estudo climatológico da zona de convergência intertropical(ZCIT) e sua influência sobre o Nordeste do Brasil**. INPE-2534-TDL/101, INPE, São José dosCampos, 93p. 1982.

LOUKAS, A.; VASILIADES, L.; DALEZIOS, N. R. Intercomparison of meteorological drought indices for drought assessment and monitoring in Greece, **8 International Conference on Environmental Science and Technology**, Lemnos Island, Greece, p.484-491, set. 2003.

LUCENA, D. B.; SERVAIN, J.; GOMES FILHO, M. F. Rainfall response in Northeast Brazil from ocean climate variability during the second half of the twentieth century. **Journal of Climate**, v. 24, n. 23, p. 6174-6184, 2011.

MACHADO J ; MACHADO C ; SCHIEWALDT, C. B. . Eventos Extremos de Precipitação no município de Bauru-SP: Possibilidade de ocorrências de desastres naturais. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ** , 2019

MACHADO, L. A. T.; FERREIRA, N. J.; LAURENT, H.; DIEDHIOU A. Distúrbios Ondulatórios de Leste. In: CAVALCANTI, I. F. A; FERREIRA, N. J; SILVA, M. G. A. J; DIAS (org.). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo/SP: **Oficina de Texto**, 2009. p. 62 – 73.

MANIÇOBA et al., 2017. Índice de anomalias de chuva para diferentes mesorregiões do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.10, n.04 (2017) 1110-1119.

MARCCUZO, F. F. N.; MELO, D. C. R. ROCHA, H. M. Distribuição Espaço-Temporal e Sazonalidade das Chuvas no Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 4, p. 157-167, 2011.

MARCELINO, E. V. Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. **Caderno Didático**, Santa Maria, n. 1, 2008. Disponível em: <http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP8W/33DACM8>. Acesso em: 18/01/2021.

MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Caracterização do Clima no Século XX e Cenários Climáticos no Brasil e na América do sul para o Século XXI derivados dos modelos Globais de Clima IPCC. **CPTEC/INPE**. São Paulo, p.185. 2007.

MARENGO, J. A., ALVES, L. M., BESERRA, E., LACERDA, F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro, in: MEDEIROS, S. DE S., GHEYI, H.R., Galvão, C. de O., Paz, V.P da S. (Orgs.). **Recursos Hídricos e Regiões Áridas e Semiáridas**. INSA, Campina Grande, pp. 383- 416, 2011.

MARENGO, J.A. Mudanças climáticas, Condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. **Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável - FBDS**, p.4-18, 2009.

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

MELO, A. B. C.; NOBRE, P.; MENDES, D.; BOTTINO, M. J., A Zona de Convergência Intertropical sobre o Oceano Atlântico: Climatologia. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7., 2002. Foz do Iguaçu. **Anais...**, Foz do Iguaçu, RS. 2002.

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

MERRITT, E. S. Easterly waves and perturbations: a reappraisal. **Journal of Applied Meteorology**, 3:367-382, 1964.

Ministério das Cidades/Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. **Brasília: Ministério das Cidades, IPT, 2007.**

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

MOTA, G. V.; GANDÚ, A. W. Análise de Distúrbios Ondulatórios de Leste que Afetam o Nordeste Brasileiro: Um Estudo de Caso. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**. CBMET, 1996. p. 1 – 5. Disponível: [https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/bitstream/prefix/2000/1/TCC\\_AnaliseDisturbiosOndulatorios.pdf](https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/bitstream/prefix/2000/1/TCC_AnaliseDisturbiosOndulatorios.pdf) Acessado em: 15/03/2021

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 38, n. 12, p. 2653-2675, 1981.

MOURA, A.D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **J. Atmos. Sci.**, 38, 2653-2675. 1981.

MOURA, M. O; CUNICO, C; TEMOTEO, K. K. S; SILVA, N. T. Desastre natural associado à ocorrência de chuva extrema na cidade de Patos, Paraíba. In: **Paraíba: pluralidade e representações geográficas**, v.2 / SILVA, A. B, GUTIERRES, H. E. P, GALVÃO, J. C. (Org.). Campina Grande: EDUFPG, 2017.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro/RJ: **IBGE**, 1979. p. 421.

NOBRE, C. A.; MOLION, L.C.B. The Climatology of Droughts and Drought Prediction. In: **Impacts of Climatic Variations on Agriculture**, v.2 : Assesments in semi-arid regions, M.P. Parry, T.R. Carter e N. T. Konijn (eds.). D. Reidel Pub. Co., 764p. 1988.

NOBRE, P., A. B. C. DE MELO, 2001: Variabilidade climática Intrasazonal sobre o Nordeste do Brasil em 1998-2000. **Climanálise**, 16 (12), 42-54.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, n.10, p. 2464–2479, 1996.

NOBREGA, R.; FARIAS, R. (2016). Eventos Extremos Pluviais em Jaboaão dos Guararapes: Climatologia e estudo de caso. **Revista do Departamento de Geografia**, (spe), 70-82.

NORONHA, G. C.; HORA, M. A. G. M.; SILVA, L. P, Análise do Índice de Anomalia de Chuva para a Microbacia de Santa Maria/Cambiocó, RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2016.

OLIVEIRA, J.L.A. **Uma contribuição aos estudos sobre a relação transporte e crescimento urbano: O caso de João Pessoa.**(Dissertação) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

OLIVEIRA, et al., 2012. Trend of Rain in Northeast Brazil, in: Martín, O. E.; Roberts, T. M. Rainfall: Behavior, Forecasting and Distribution. New York, USA: ed. **Nova Science Publishers**.

OLIVEIRA, P. T.; SILVA, C. M.S.; LIMA, K. C., 2014. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brazil. **Atmospheric Science Letters** v.15, p.172-177.

OLIVEIRA, P.T., SANTOS, C.M.S., LIMA, K.C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.125, 2016.

PACHÊCO, A. P.; RIBAS, N. S. Sensoriamento Remoto Aplicado ao Uso da Terra. **Geodésica online**, v. 4, n. 1, p. 34-48, 1998.

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

PALMER, C.E. Tropical Meteorology. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 78: 126-163, 1952.

PARAÍBA/UFPB. Atlas Geográfico do estado da Paraíba. João Pessoa. **Grafset**.1985.

PEREIRA, M. D. B. **As chuvas na cidade de João Pessoa: Uma abordagem genética**. 2014. 94 p. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa/PB, 2014.

PEREIRA, R. e NUNES, A. (2018). Estudo climático dos eventos de precipitação associados a alagamentos urbanos no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**. 11. 2010-2017. 10.26848/rbgf.v11.6.p2010-2017.

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

PLANO MUNICIPAL DE CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA. Baseado na Lei Federal nº 11.428/06. Novembro de 2010.

RAMIRES, J.; BERAYARMOND, N.; SALGADO, C. M. A VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA NO CARIRI CEARENSE E A INFLUÊNCIA DAS TELECONEXÕES ENOS E ODP. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 8., 2017, Campinas. **Anais..**

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 – 1763,1993.

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.

RATISBONA, C. R. 1976. The climate of Brazil. In: *Climates of Central and South America*. **World Survey of Climatology**, Elsevier 12, 219-293.

REED, R. J.; KLINKER, E.; HOLLINGSWORTH, A. The structure and characteristics of African easterly wave disturbances as determined from the ECMWF Operational Analysis/Forecast System. **Meteorology Atmospheric Physics**, 38: 22-33, 1988.

REIS, E.J. e S. MARGULIS. Perspectivas Econômicas do Desflorestamento da Amazônia. Textos para Discussão No. 215, **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, Brasília, Brazil, 47 pp. (in Portuguese). 1991.

REPELLI, C. A.; FERREIRA, N. S.; ALVES, J. M. B.; NOBRE, C. A. Índice de anomalia de precipitação para o Estado do Ceará. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA E VIII CONGRESSO DA FLLSMET, 1998, Brasília –DF. **Anais...** 1998.

REPELLI, C. A.; NOBRE, P. Modelagem Estatística das Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar do Oceano Atlântico Tropical. **Revista Climanálise** - Edição comemorativa de 10 anos, 1996.

REPELLI, C. A.; SOUZA, E. B.; QUADRO, M. F. L.; ALVES, J. M. B.; SAKAMOTO, M. S. O episódio de chuvas intensas no Nordeste Brasileiro no final de Março/1997: Influências da oscilação de 30-60 dias. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.13, p.9-18, 1998.

RIBEIRO, E.L.; SILVEIRA, J.A.R. Cidade expandida: O fenômeno do sprawl urbano e a dinâmica de segregação sócioespacial. AU. **Arquitetura e Urbanismo**, v. 24, p. 74-78, 2009.

ROBERTS, P. O fim dos alimentos. Rio de Janeiro: **Elsevier**, 2009.

ROOY, V.M.P., A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space, **Notos**, 14, 43, 1965

SALES, R. M. M. Professora da disciplina “**Princípios e Estratégia da Educação Ambiental**” – Projeto de Pesquisa apresentado para avaliação e julgamento em conformidade com o estabelecido no Edital PROPEX 07/2016 PIBIC/CNPq/UFMG. Curso de Engenharia Ambiental da UACTA/CCTA/UFMG, Campus de Pombal, Paraíba, 2016.

SANCHES *et al.*, O índice de anomalia de chuva (iac) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/RS (1928- 2009). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia v. 15, n. 51 Set/2014 p. 73–84.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Índice de Anomalia de Chuva (IAC) na avaliação das precipitações anuais em Alegrete/RS (1928-2009). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 15, n. 51, p.73-73, 2014.

SANTOS NETO, L. A. **Variabilidade da precipitação horária em Porto Velho RO e suas tendências anuais e sazonais**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Fundação Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2014.

SANTOS, A. P. P.; ARAGÃO, M. R. S.; CORREIA, M. F.; SANTOS, S. R. Q.; SILVA, F. D. S.; ARAÚJO, H. A. Precipitação na cidade de Salvador: variabilidade temporal e classificação em Quantis. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.31, n.4, p.1-14, 2016.

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-UFPG, Campina Grande 2013.

SANTOS, D. D. **Análise estatística das precipitações no Litoral Norte Paulista: subsídios para a determinação de eventos extremos**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo: 101p., 2019.

SANTOS, E. B.; LUCIO, P. S.; SILVA, C. M. S. Seasonal analysis of return periods for maximum daily precipitation in the Brazilian Amazon. **Journal of Hydrometeorology**. 2015, DOI: 10.1175/JHM-D-14-0201.1.

SANTOS, E. P. **Variabilidade Climática e Eventos Hidrológicos Extremos na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco**. 68f. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

SANTOS; P. E.; CORREIA, M. F.; ARAGÃO; M. R. S.; SILVA, F. D. DOS S. Eventos Extremos de Chuva e Alterações no Regime Hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: Uma Aplicação do Índice Rai (RAINFALL ANOMALY INDEX). **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 8, n. 2, p. 315-330, abr. /jun. 2011.

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.

SEMARH - Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais do Estado da Paraíba. 2000. **Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame. João Pessoa: Convênio SEMARH/SCIENTEC**, v. 1, 2, 3 e anexos.

SERRA, A.B. The general circulation over South America. *Bull. of the Am. Meteorol. Soc.*, 22, 173-179. 1941

SERVAIN, J. Simple Climatic Indices for the Tropical Atlantic Ocean and some Applications. **Journal of Geophysical Research**, v. 96, p. 15.137-15.146,1991.

SILVA, G. S.; SILVA, W. S.; SILVA, A. L.; ALMEIDA, N. V.; ARAÚJO, L. E. Análise da Precipitação da Microrregião do Cariri Oriental Paraibano. **REGNE**, Vol. 4, Nº 1. 2018.

SILVA, L. M. T. Forma Urbana e Cotidiano na Evolução de João Pessoa -PB. **Saeculum** (UFPB), João Pessoa -PB, v. 1, n. 3, p. 161-186, 1997.

SILVA, F. M.; COSTA, A. M. B.; SOUSA, B. L. Circulação global e sua influência nos sistemas sinóticos atuantes no Nordeste do Brasil - Fase 1. **Sociedade e Território**. Natal, 1999, v.13, n.1, p.44 - 49, jan./jun.

SILVA, L. A. **A influência do vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) sobre a precipitação do nordeste do Brasil (NEB) e as características associadas**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 131 pg., 2005.

SILVA, S.T. 1996. **A Influência do El Niño Oscilação Sul na distribuição espacial da precipitação no estado da Paraíba**. 63p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

SILVESTRE, E. Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico Tropical. **Climanálise Especial**. São José dos Campos: INPE, 1996, pp. 142 – 149.

SONG *et al.* Recent changes in extreme precipitation and drought over the Songhua River Basin, China, during 1960-2013. **Elsevier Atmospheric Research** v.157, p.137-152, 2015.

SOUSA, A. J. S. **Eventos extremos de precipitação o leste da Amazônia**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. Uma Revisão sobre a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico na Variabilidade Pluviométrica do Semiárido Nordestino. **Monitor Climático**, 11 (122): 7-17, Maio de 1997.

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

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V.; ARAÚJO, L. E. Classificação da precipitação diária e impactos decorrentes dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 02, 250-268. 2012.

TAI, K. S.; OGURA, Y. An observational study of easterly waves over the Eastern Pacific in the northern summer using FGGE data. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 44(2):339-361, Jan. 1987.

TANAJURA C. A. S.; GENZ, F.; ARAÚJO H. Á. 2010. Mudança climática e recursos hídricos na Bahia: validação da simulação climática usando HADRM3P e comparação com os cenários A2 e B2 para 2070–2100. **Revista Brasileira de Meteorologia** 25 (3): 345 - 358.

TAPSELL, S. *et al.* **Social vulnerability to natural hazards: Toward more resilient societies**. 2010.

TEIXEIRA, M. S; SATYAMURTY, P. Trends in the Frequency of Intense Precipitation Events in Southern and Southeastern Brazil during 1960–2004. **Journal of climate**, v. 24, p.1913-1921, 2011.

TEIXEIRA, R. F. B. O fenômeno da brisa e sua relação com a chuva sobre FortalezaCE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.3, p.282-291, 2008.

TEMOTEO, K. K. S. **Eventos de chuvas intensas e extremas e seus impactos no espaço urbano de Campina Grande**, Paraíba. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

TOBIN, G. A; MONTZ, B. E. Natural hazards: explanation and integration. **New York: The Guilford Press**, 1997. 388p.

TOMINAGA L. K.; SANTORO, J.; AMARAL R. (Org.). Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: **Instituto Geológico**, 2009.

TOMINAGA, L. K. Desastres Naturais: Por que Ocorrem? p. 11 – 23. In: **Desastres Naturais- Conhecer para Prevenir**. TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Organizadores).São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 193p.

TOTA, J.; FISCH, G.; FUENTES, J.; OLIVEIRA, P. J.; GARSTANG, M.; HEITZ, R.; SIGLER, J. Análise da variabilidade diária da precipitação em área de pastagem para a época chuvosa de 1999 – Projeto TRMM/LBA. **Acta Amazônica**, 30 (4): 629-639. 2000.

TUBELIS, A, NASCIMENTO, F.J.L. **Meteorologia descritiva: Fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo, Nobel, 1980. 374p.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2 ed. Editora da UFRGS, Porto Alegre. 1997.

UNDP – United Nations Development Programme. Reducing disaster risk: a challenge for development. New York, USA: **UNDP**, 2004. 129p.

UVO, C. R. B., NOBRE, C. A.; CITRAN, J. Análise da posição da zona de convergência intertropical (ZCIT) no Atlântico equatorial e sua relação com a precipitação no Nordeste do Brasil. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 11, Rio de Janeiro (RJ), p.323-327.1988.

UVO, C. R. B.; NOBRE, C. A. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. Parte I: a posição da ZCIT no Atlântico equatorial. **Climanálise**, v. 4, n. 7, p. 34-40, 1989.

UVO, C.B. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua Relação com a Precipitação na Região Norte do Nordeste Brasileiro**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE, São José dos Campos, SP, 1989.

UVO, C.R. B. E R. BERNDTSSON, 1996. Regionalization and Spatial Properties of Ceará State Rainfall in Northeast Brazil. **J. Geoph. Res.**, vol. 101, no. D2, 4221-4233.

- VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia. Recife: INMET, 2006.
- VEYRET, I. **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. 2.ed. São Paulo.Contexto. 315p., 2013.
- VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa: UFV. 2006.
- VISHER, S. S. 1925. **Tropical cyclones of the Pacific**. Honolulu, Bernice T.Bissop Museum. Bulletin nº 20, 163.
- WALLACE, J.M.; CHANG, C.P. Spectrum analysis of large scale wave disturbances in the tropical lower troposphere. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 26: 1010-1025, Sep. 1969.
- WANDERLEY, L. S. A. et al. As Chuvas na Cidade do Recife: Uma Climatologia de Extremos. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 22, fev. 2018. ISSN 2237-8642.
- WORLD, B. World development report 2010: **Development and climate change**. Washington, DC: World Bank, 2010..
- XAVIER, T. de Ma. B. S.; XAVIER, A. F. S (1998a), Análise do Papel das Temperaturas Oceânicas no Atlântico e Pacífico, e Outras Covariáveis, nas Chuvas no Ceará, X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da FLISMET, **Anais em CD-ROM**, Brasília, Outubro 1999.
- 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.
- XAVIER, T. M. B. S. **Tempo de Chuva- estudos climáticos e de previsão para o Ceará e o Nordeste Setentrional**. Fortaleza: ABC Editora, 2001. 478p.
- YAMAZAKI, Y.; RAO, V.B. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, Tokyo, v.55, p.205-207, 1977.
- YANAI, M.; MARUYAMA, T.; NITTA, T.; HAYASHI, Y. Power spectra of large scale disturbances over the Tropical Pacific. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, 46(4):308-323, 1968.
- ZANDONADI, L.; ACQUAOTTA, F.; FRATIANNI, S.; ZAVATTINI, J. A. Changes inprecipitation extremes in Brazil (Paraná River basin). **Theoretical and applied climatology**. Viena, p. 741-756, jan. 2016.
- ZANELLA, M. E. **Inundações em Curitiba: impactos, risco e vulnerabilidade socioambiental**. 2. ed. Fortaleza: Editora da UFC, 2014.

ZANELLA, M. E.; SALES, M. C. L.; ABREU, N. J. **A análise das precipitações diárias intensas e impactos gerados em Fortaleza-CE.** GEOUSP- Espaço e Tempo, São Paulo, n° 25, p 53-68, 2009.

ZHANG, Q.; XU, C.-Y.; CHEN, X. H.; ZHANG, Z. 2011. Statistical behaviors of precipitation regimes in China and their links with atmospheric circulation 1960–2005. **International Journal of Climatology** 31, 1665–1678.

ZIN, W. Z. W., JAMALUDIN, S., DENI, S. M., JEMAIN, A. A. Recent changes in extreme rainfall events in Peninsular Malaysia: 1971 – 2005. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 99, p. 303-314, 2010.

ZOLINA, O.; SIMMER, C.; GULEV, S. K., KOLLET, S. Changing structure of European precipitation: longer wet periods leading to more abundant rainfalls. **Geophysical Resources Letters** 37: L06704.