



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

MARIANA CAROLINE GOMES DE LIMA

**INFLUÊNCIA DOS EVENTOS EXTREMOS E DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO
PADRÃO HIDROCLIMÁTICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUNDAÚ E
A VULNERABILIDADE DA POPULAÇÃO**

Recife

2019

MARIANA CAROLINE GOMES DE LIMA

**INFLUÊNCIA DOS EVENTOS EXTREMOS DA PRECIPITAÇÃO E DAS
MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO PADRÃO HIDROCLIMÁTICO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO MUNDAÚ E AVULNERABILIDADE DA POPULAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Área de concentração: Gestão e Tecnologia Ambiental

Orientador: Profa^o. Dra. Werônica Meira de Souza.

Coorientador: Dr. Rodrigo de Queiroga Miranda

Profa^o Dra. Thais Emanuelle Monteiro dos Santos Souza.

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

L732i Lima, Mariana Caroline Gomes de.
Influência dos eventos extremos da precipitação e das mudanças climáticas no padrão hidroclimático da bacia hidrográfica do Rio Mundaú e a vulnerabilidade da população / Mariana Caroline Gomes de Lima. – 2019.
91 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Werônica Meira de Souza.

Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo de Queiroga Miranda.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Thaís Emanuelle Monteiro dos Santos Souza.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 2018.

Inclui referências, apêndices e anexos.

1. Gestão ambiental. 2. Precipitação (Meteorologia) - Variabilidade. 3. Mudanças climáticas. 4. Bacias hidrográficas. 5. Mundaú, Rio, Bacia (AL e PE). I. Souza, Werônica Meira de (Orientadora). II. Miranda, Rodrigo de Queiroga (Coorientador). III. Souza, Thaís Emanuelle Monteiro dos Santos (Coorientadora). IV. Título

363.7 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2019-062)

MARIANA CAROLINE GOMES DE LIMA

**INFLUÊNCIA DOS EVENTOS EXTREMOS DA PRECIPITAÇÃO E DAS
MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO PADRÃO HIDROCLIMÁTICO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO MUNDAÚ E A VULNERABILIDADE DA POPULAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Aprovado em: 01/02/2019

BANCA EXAMINADORA

Prof^a ° Dr.^a Werônica Meira de Souza (Orientadora)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Lucivânio Jatobá de Oliveira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Valéria Sandra de Oliveira Costa (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro (Examinador Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedico este trabalho a minha mãe: Ana Maria Gomes Pereira. A minha prima: Maria dos Prazeres (*in memoriam*). Aos meus irmãos João Carlos Vieira de Lima e Roberto Rodrigo Gomes e a todos pelo amor, apoio, dedicação.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por me permitir realizar tantos sonhos nesta existência. Obrigado por me permitir errar, aprender e crescer, por Seu infinito amor.

A minha amada mamãe **Ana Maria Gomes Pereira**, que sempre sozinha investiu tempo e dedicação a todos seus filhos permitindo uma educação digna e de qualidade. Te dedico esta obra.

A queridíssima professora orientadora **Werônica Meira de Souza** que acreditou em meu potencial, sempre disponível e disposta, fazendo-me enxergar que existe mais que pesquisadores e resultados, mas vidas humanas... Você não foi somente orientadora, mas conselheira, amiga e meu suporte de tranquilidade em momentos de caos. Foi um enorme prazer construir esta obra ao seu lado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado.

À Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) por meio dos Projeto de Pesquisa APQ-0762-1.07/15 e Projeto APQ-0300- 5.03/17-CONSÓRCIO UNIVERSITAS, e ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), por intermédio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e a Agência Nacional de Águas (ANA), por meio do edital MCTI/CNPq/ANA n.23/2015.

Aos amigos construídos ao longo desses dois anos pelo apoio e aprendizado constante. Seus conhecimentos e dedicação foram fundamentais. Em especial a **Michelle Araújo**, sempre disponível a me ouvir, me animar e incentivar com sua força e palavras de carinho. A **Rennisy** por toda sua história de vida e força A minha *friend* **Hévila** por toda ajuda em momentos difíceis e sorriso leve. A **Pedrinho** e **Carlos** amigos que me inspiraram e me apoiaram em todos os momentos. A **Ivo Raposo** e **Brunna Cavalcanti**, que desde a graduação foram meu suporte em todos os momentos compartilhados durante o mestrado. A toda equipe **SERGEIO** por ensinamentos e conhecimentos compartilhados. Aprendi demais com cada um de vocês.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação, os meus sinceros agradecimentos. **Ninguém vence sozinho.**

Não há no mundo exagero mais belo que a gratidão
(BRUYERE, J. L, 1820, p. 52).

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar a influência dos eventos extremos da precipitação pluviométrica e das mudanças climáticas no padrão hidroclimático, assim como os impactos socioambientais decorrentes dos desastres associados aos eventos extremos (secas e chuvas intensas) na bacia hidrográfica do rio Mundaú. Para realização do projeto foram utilizados dados de precipitação pluviométrica diária de 01 de janeiro de 1961 a 31 de dezembro de 2017 de 36 estações pluviométricas na bacia do rio Mundaú obtidos na Agência Pernambucana de Águas e Clima, dados de desastres (secas, estiagens, inundações, alagamentos, óbitos, entre outros) do Ministério da Integração Nacional, cenários climáticos para os anos 2025 e 2055 no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, e dados socioambientais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Os métodos basearam-se no software Climap 3.0, técnica dos quantis, modelo regional Eta, mapeamento dos índices de risco a desastres e de vulnerabilidade da população. Constatou-se tendência de diminuição da precipitação pluviométrica em praticamente todos os municípios da bacia do rio Mundaú, cujos totais anuais da precipitação e desvios padronizados evidenciaram diminuição de anos com chuvas acima da média a partir do final da década de 80, indicando aumento da frequência de anos mais secos na região em relação aos anos chuvosos. Por outro lado, verificou-se tendência positiva de eventos extremos de precipitação intensa em algumas localidades da bacia, representado pelo índice de dias muito úmidos acima do percentil 95. Na análise decadal constatou-se uma diminuição considerável das chuvas ao longo da bacia dos períodos analisados. Os cenários climáticos para os anos de 2025 e 2055 da precipitação também indicam diminuição dos totais anuais. Os maiores registros dos impactos dos eventos extremos são as estiagens, enxurradas, secas, inundações e alagamentos, sendo que os eventos de secas estão concentrados na região semiárida e os de chuva próximo ao Litoral da bacia. Com relação ao mapeamento dos índices de risco a desastres e de vulnerabilidade, as regiões sul/sudeste e extremo norte/noroeste apresentam risco a desastres moderado a muito alto em relação aos eventos extremos, bem como vulnerabilidade alta a muito alta nessas regiões e em algumas localidades da área central da bacia, evidenciando que os eventos extremos de precipitação (chuvas intensas e secas) tem relação direta com a vulnerabilidade das populações da bacia, afetando as condições socioeconômicas e ambientais, e consequentemente a qualidade de vida na região.

Palavras-chave: Tendência climática. Desastres. Índice de risco.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the influence of extreme events of rainfall and climatic changes on the hydroclimatic pattern, as well as the social and environmental impacts caused by the disasters associated with extreme events (droughts and heavy rains) in the Mundaú river basin. To perform the project, daily rainfall data from January 1, 1961 to December 31, 2017 were used for 36 rainfall stations in the Mundaú river basin obtained from the Pernambuco State Agency for Water and Climate, data on disasters (droughts, droughts, floods, floods, deaths, among others) of the Ministry of National Integration, climatic scenarios for the years 2025 and 2055 in the Center for Weather Forecasting and Climate Studies, and socioenvironmental data of the Brazilian Institute of Geography and Statistics. The methods were based on Climap 3.0 software, quantile technique, regional model Eta, mapping the risk indices to disasters and population vulnerability. It was observed a tendency of rainfall reduction in practically all municipalities of the Mundaú river basin, whose annual totals of precipitation and standard deviations evidenced decrease of years with rains above the average from the end of the decade of 80, indicating increase of the frequency of drier years in the region compared to the rainy years. On the other hand, there was a positive tendency of extreme events of intense precipitation in some localities of the basin, represented by the index of very humid days above the 95th percentile. In the decadal analysis it was observed a considerable decrease of the rains along the basin of the periods analyzed. Climatic scenarios for the years 2025 and 2055 of precipitation also indicate decreases in annual totals. The greatest records of the impacts of extreme events are droughts, floods, droughts, floods and floods, with drought events concentrated in the semi-arid region and rainfall near the basin. Regarding the mapping of disaster risk and vulnerability indices, the south / southeast and north / north-west regions present moderate to very high risk of extreme events, as well as high to very high vulnerability in these regions and in some regions. localities in the central area of the basin, showing that extreme precipitation events (intense and dry rains) are directly related to the vulnerability of basin populations, affecting socioeconomic and environmental conditions, and consequently the quality of life in the region.

Key words: Climate trends. Disasters. Risk index.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Funcionamento do modelo climático acoplado oceano-atmosfera HadCM3.....	26
Figura 2 –	Localização da bacia hidrográfica do rio Mundaú no Nordeste do Brasil.....	31
Figura 3 –	Climatologia da precipitação pluviométrica mensal na bacia do rio Mundaú durante o período de 1963 a 2017	42
Figura 4 –	Distribuição espacial da climatologia da precipitação pluviométrica (a) anual e do (b) período chuvoso (abril a julho) na bacia hidrográfica do rio Mundaú no período de 1963 a 2017.....	42
Figura 5 –	Médias históricas mensais e trimestrais da precipitação pluviométrica para os municípios de Caetés, Canhotinho, Garanhuns, Jucati, Murici, Correntes, Brejão, Lajedo, Bom Conselho	43
Figura 6 –	Precipitação total para os municípios de Brejão, Lajedo, Caetés, Bom Conselho e Garanhuns para o período de 1963 a 2017 e seus respectivos desvios padronizados.....	47
Figura 7 –	Precipitação do trimestre chuvoso para os municípios de Caetés, Canhotinho, Murici, Correntes, Jucati, Lajedo, Bom Conselho, Brejão e Garanhuns para o período de 1963 a 2017 e seus respectivos desvios padronizados.	49
Figura 8 –	Dias com chuva $\Rightarrow$ 1 mm, dias com chuva $\Rightarrow$ 10 mm e dias com chuva $\Rightarrow$ 20 mm diários para o período de 1963 a 2017.....	52
Figura 9 –	Ocorrência de precipitação a 95% e 99% de confiança para a série de estudo correspondente à 1963 a 2017.	56
Figura 10 –	Distribuição espacial da precipitação pluviométrica anual decadal nos períodos de 1960 a 1969 (a), 1970 a 1971 (b), 1981 a 1989 (c), 1990 a 1999 (d), 2000 a 2009 (e), 2011 a 2017 (f) na bacia hidrográfica do rio Mundaú	59
Figura 11 –	Frequência observada por categoria (MS, S, N, C, MC)	61
Figura 12 –	Número de desastres registrados associados às chuvas (a), secas (b) e desastres total (c) registrados no período de 1963 a 2017 para a bacia	

	do rio Mundaú.....	63
Figura 13 –	Número de óbitos registrados entre 1963 a 2017 nos municípios que compõe a bacia hidrográfica do Rio Mundaú.....	68
Figura 14 –	Distribuição espacial do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, Índice de Desenvolvimento Humano educacional, Índice de Desenvolvimento Humano Renda, e Índice de Desenvolvimento Humano Longevidade nos municípios que compõe a bacia do Rio Mundaú.....	70
Figura 15 –	Distribuição espacial do índice de risco e de vulnerabilidade a desastres dos municípios que compõe a bacia hidrográfica do rio Mundaú para o período de 1963 a 2017.....	72
Figura 16 –	Distribuição espacial do índice de risco a desastres de chuva (a) e risco à desastre de seca (b) dos municípios que compõe a bacia hidrográfica do rio Mundaú para o período de 1963 a 2017.....	73
Figura 17 –	Cenários climáticos da precipitação pluviométrica anual para os anos de 2025 e 2055 para a bacia hidrográfica do rio Mundaú.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Municípios analisados e suas respectivas séries históricas.....	33
Tabela 2 –	Determinação das categorias e probabilidades da precipitação mensal relacionada às ordens quantílicas para os municípios que compõe a bacia do Rio Mundaú.	37
Tabela 3 –	Classificação da intensidade da precipitação anual para os municípios da bacia do rio Mundaú relacionada às ordens quantílicas.....	60
Tabela 4 –	Distribuição Distribuição ao longo dos anos de acordo com a classificação quantílica.....	61
Tabela 5 -	Número de eventos registrados no período de 1961 a 2017 para os municípios da bacia do Rio Mundaú evidenciando o número de pessoas afetadas, desalojadas, desabrigadas e deslocadas.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
ANA	Agência Nacional de Águas
CNTRL	Sem Perturbação
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Assuntos Climáticos
DD	Densidade Demográfica
DPP	Desvio Padronizado
H	Condições de Habitação
HIGH	Alta Sensibilidade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDH-M	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IDH-E	Índice de Desenvolvimento Humano Escolar
IDH- L	Índice de Desenvolvimento Humano Longevidade
IDH-R	Índice de Desenvolvimento Humano Renda
LI	Linhas de Instabilidade
LOW	Baixa Sensibilidade
Ms	Muito Seco
MID	Média Sensibilidade
Mc	Muito Chuvoso
MCR	Modelos Climáticos Regionais
mm	Milímetros
N	Normal
NEB	Nordeste Brasileiro
P	Perigo
PT	População Total
R	Risco
RM	Renda Percapita Média
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVO GERAL	17
2.1	Objetivos específicos.....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1	Eventos extremos da precipitação e variabilidade climática.....	18
3.1.2	Influência dos sistemas atmosféricos no Nordeste do Brasil	20
3.2	Técnica dos Quantis.....	22
3.3	Cenários das mudanças climáticas.....	23
3.4	Modelos Climáticos.....	25
3.5	Vulnerabilidade.....	28
4	MATERIAL E MÉTODO	31
4.1	Caracterização da área de estudo	31
4.1.1	Localização e geomorfologia.....	31
4.1.2	Hidrologia e climatologia	32
4.1	Metodologia.....	32
4.2.1	Dados.....	33
4.2.2	Análise dos eventos extremos da precipitação pluviométrica e do padrão hidroclimático.....	35
4.2.3	Técnica dos Quantis	36
4.2.3.1	<i>Software GRETl</i>	37
4.2.3.2	<i>Cenários futuros</i>	38
4.2.4	Impactos associados aos eventos extremos.....	38
4.2.5	Índices de risco e de vulnerabilidade.....	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1	Extremos climáticos da precipitação pluviométrica e padrão hidroclimático.....	41
5.1.1	Climatologia da precipitação.....	41
5.1.2	Médias históricas mensais e trimestrais.....	42
5.1.3	Precipitação total e desvio padronizado	46
5.1.4	Análise dos índices de extremos de precipitação.....	52
5.1.5	Análise da variabilidade decadal da precipitação pluviométrica anual.....	58
5.1.6	Padrão hidroclimático.....	60
5.2	Impactos ocasionados pelos eventos extremos.....	62

5.3	Cenários climáticos da precipitação pluviométrica	74
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
	REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

Os eventos extremos como as chuvas intensas, as secas, as ondas de calor e frio decorrentes da variabilidade climática e possivelmente da mudança climática têm afetado diferentes partes do planeta, resultando em diversas perdas econômicas e de vida do qual, pode-se mencionar no Brasil, eventos climáticos devastadores recentes, como as chuvas intensas no estado do Rio de Janeiro em 2019, as enchentes em Pernambuco e Alagoas em 2010 e 2011, as secas no semiárido do Nordeste de 2012 a 2017, as secas já observadas no sul do Brasil em 2004, 2005 e 2006, a seca da Amazônia em 2005, com grandes impactos socioeconômicos e ambientais. Para Assis, Souza e Sobral (2014), a variabilidade climática decorrente das mudanças climáticas tem intensificado cada vez mais a problemática da escassez hídrica em áreas áridas e semiáridas do planeta, destacando o semiárido do Nordeste do Brasil, que apresenta elevada tendência à aridização, acompanhada de diminuição da oferta hídrica, em função da alteração nos padrões pluviométricos.

Segundo Souza e Azevedo (2012), muitos estudos de variabilidade e mudança do clima consideram as variações de precipitação pluvial como um índice de detecção de mudanças climáticas devido aos registros observacionais razoavelmente longos e de qualidade. A região Nordeste caracteriza-se pela irregularidade espacial e temporal da precipitação e dos processos de escoamento e erosão dos solos, como também pelo alto potencial para evaporação da água em função da enorme disponibilidade de energia solar e altas temperaturas durante todo o ano.

Em meio a essa irregularidade, pode-se destacar a ocorrência de chuvas intensas em um curto período de tempo, como também ausência de chuvas em um longo período, resultando em seca. Segundo Galvêncio e Moura (2005), o problema das secas na região Nordeste do Brasil está relacionado muito mais com a má distribuição das chuvas do que propriamente com a falta das mesmas, além de outros fatores, tais como uma baixa capacidade de retenção de umidade no solo e altas taxas de evaporação e evapotranspiração, que contribuem para agravar o problema. No Nordeste brasileiro e particularmente em Pernambuco, a precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes, sua variabilidade espacial e temporal é determinante para caracterizar o clima local (ASSIS; SOBRA; SOUZA, 2014).

Em estudo realizado por Silva, Sousa e Kayano (2007), relatam que a bacia do rio Mundaú, localizada entre a mesorregião do Agreste Pernambucano e centro-leste Alagoano, encontra-se em acelerado processo de degradação ambiental e um alto potencial poluidor da bacia hidrográfica, fazendo-se necessário realização de estudos, pesquisas e ações de conscientização ambiental que venham a fornecer possibilidades ao uso múltiplo e racional dos recursos hídricos e ambientais presentes na bacia, visto que esta região apresenta escassez hídrica, prejudicando o abastecimento de importantes municípios do Nordeste brasileiro.

Segundo Silva et al. (2013), o conhecimento do comportamento temporal das precipitações de uma determinada região é de suma importância para as atividades desenvolvidas na área, visto que além das mudanças do clima, fatores como pressão demográfica, crescimento urbano desordenado, pobreza, migração rural e o baixo investimento em infraestrutura e serviços, contribuem para o aumento da vulnerabilidade hídrica (SALVIANO; DEZAN; YANAGIHARA, 2015).

O estado de Pernambuco tem 70% do seu território localizado no semiárido nordestino, no chamado “Polígono das Secas”. O Nordeste brasileiro sempre estará sujeito às secas periódicas, já que uma das características dessa região chuvas irregulares e mal distribuídas geograficamente (www.pe-az.com.br). Em estudo realizado por Nimer (1979), verificou-se que entre as Zonas da Mata, Agreste e Sertão de Pernambuco, a existência de uma enorme desvantagem no regime pluviométrico,

Portanto, para a bacia hidrográfica do rio Mundaú, que enfrenta em alguns anos a problemática da escassez hídrica e responsável pelo abastecimento de municípios importantes do Nordeste brasileiro, o presente estudo nesta bacia hidrográfica reveste-se de importância quando analisados os impactos do clima em áreas de interesse sócio-econômico e ambiental. Tornando-se possível conhecer os problemas da região e ao mesmo tempo tentar minimizá-los por meio de planejamento de ações nos setores social, econômico e ambiental, além de auxiliar na compreensão dos mecanismos geradores de precipitação, da sua variabilidade espaço-temporal e dos seus efeitos que afetam as atividades agrícolas e consequentemente a população da região.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência dos eventos extremos da precipitação pluviométrica e das mudanças climáticas no padrão hidroclimático, bem como verificar os impactos socioambientais decorrentes dos desastres associados aos eventos extremos (secas e inundações) na bacia hidrográfica do rio Mundaú.

2.1 Objetivos específicos

1. Analisar os extremos climáticos da precipitação pluviométrica e a evolução temporal e espacial das chuvas na região estudada;
2. Determinar o padrão hidroclimático na bacia hidrográfica do rio Mundaú;
3. Gerar os cenários climáticos para os anos de 2025 e 2055 para a variável precipitação;
4. Avaliar os impactos decorrentes dos eventos extremos de precipitação;
5. Determinar os índices de vulnerabilidade e de risco para a bacia hidrográfica do rio Mundaú.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na presente seção, encontra-se a fundamentação teórica que serviu de suporte durante toda a realização da pesquisa, relativa aos principais itens que compõem este estudo, elucidando cada ponto abordado, a saber: Eventos extremos da precipitação e variabilidade climática, Técnica dos Quantis, Cenários de mudanças climáticas, Erosividade e Vulnerabilidade.

3.1 Eventos extremos da precipitação e variabilidade climática

As primeiras percepções sobre a precipitação pluviométrica foram aprendidas na Antiguidade, pelos mesopotâmios e egípcios, que necessitavam do conhecimento da dinâmica do ciclo das águas como princípio de sua existência material (SOUZA, 2013). Esses povos compreendiam a organização do regime das chuvas que tinham três estações bem definidas, a estação da inundação, da germinação e da colheita (SANT'ANNA NETO, 2001). Posteriormente, no contexto brasileiro, Mello et al. (2014), afirmam que a partir do século XIX o estudo científico do clima e da meteorologia começou a ganhar visibilidade no Brasil devido a elevada quantidade de pesquisas e dados meteorológicos que eram disponibilizados exigindo cada vez mais o entendimento sobre as dinâmicas e variações dos processos climáticos.

Os totais precipitados, advindos com o seu excesso ou pela falta em períodos de estiagem, segundo Xavier, Maciel e Silva (2016), são constantemente objeto de estudo para a humanidade que sempre tentou quantificar os totais precipitados para conseguir estabelecer valores médios esperados para determinada época ou para o ano de uma forma geral.

Os eventos de precipitação podem ser divididos de acordo com Farias, Alves e Nóbrega (2012), em usuais e eventos extremos. Os eventos usuais são registrados com maior frequência, possibilitando a sua absorção pelas sociedades que se adaptam ao seu ritmo natural, sendo que estes eventos não distanciam de maneira significativa da média. Já os eventos extremos de chuva são aqueles em que os valores apresentaram desvios de chuva superiores ou inferiores ao comportamento usual. Estes eventos extremos são frequentemente investigados pela comunidade científica internacional devido aos prejuízos socioeconômicos causados pelo excesso ou escassez de chuvas em diversas regiões do mundo (FERREIRA et al., 2017).

No Brasil, diversas regiões apresentam registros de eventos extremos relacionados a precipitação pluviométrica, com histórico de mortes e prejuízos socioeconômicos. Em estudo elaborado para o município de Duque de Caxias, no Rio de Janeiro, Barcellos et al. (2016), ao

realizarem um diagnóstico temporal dos desastres naturais, observaram que o excesso de chuvas para determinados períodos causa graves prejuízos à população.

Quanto ao Nordeste, esta é uma região que enfrenta graves problemas relacionados a irregularidade das chuvas, do qual, pode ser destacado os anos de secas e chuvas abundantes que se alternam de formas erráticas na região, da qual podem ser encontrados desde o século XVII relatos dessas oscilações, quando os portugueses chegaram à região, e grandes secas são presentes nos anos de 1710-11, 1723-27, 1736-57, 1744-45, 1777-78, 1808-09, 1824-25, 1835-37, 1844-45, 1877- 79, 1982-83, 1997-98, assim como secas menores em 2003 e 2005 (MARENGO, 2010; FRANCISCO et al., 2016).

A ocorrência destas chuvas não garante que as culturas de subsistência de sequeiro serão bem-sucedidas, onde os períodos secos dentro do período chuvoso, podem representar impactos bastantes severos à agricultura, visto que a presença do período seco dentro da quadra chuvosa representa impactos severos à agricultura da região (NAE 2005).

A precipitação como observada, é um processo aleatório que permite uma previsão antecedente. De acordo com isto, o tratamento dos dados de precipitação para a grande maioria dos problemas hidrológicos é através de análise estatística (TUCCI, 2009). Segundo Bertoni e Tucci (2007), seu total precipitado, sua duração, distribuição temporal e espacial representam suas principais características. Estas características são apontadas também por Alves et al. (2016), quanto a sua variação no tempo e no espaço do qual é influenciada diretamente pela localização geográfica, pelo relevo e também pelas demais variáveis meteorológicas. Estas variabilidades bem como as anomalias desta variável climática, ou seja, a variação das condições climáticas, faz-se de extrema importância análises a fim de verificar inter-relações, dinâmica, tendência, e impactos produzidos no território (SENA; NETO; LUCENA, 2017).

Em relação as suas características físicas, Varejão–Silva (2006) considera que a chuva é a precipitação de gotas de água com diâmetro igual ou superior a 0,5 mm. Esta precipitação e seu volume é considerado por Davie (2008) como a maior entrada de água em uma bacia hidrográfica e o acompanhamento e sua avaliação deve ser realizada de forma cuidadosa em qualquer estudo hidrológico, visto que, a determinação da intensidade da precipitação é importante para o controle de inundação e a erosão do solo (CHIERICE, 2013).

Segundo Silva; Sousa e Kayano, (2010), As ocorrências simultâneas de El Niño e secas no NEB se limitam a alguns eventos específicos. Resultado pelo fato de que a precipitação nessa região é também fortemente relacionada às anomalias de temperatura da superfície do mar (ATSMs) do Atlântico tropical. Moura e Shukla (1981) mostraram que para

alguns anos, os eventos de secas do NEB estão associados a um dipolo meridional de ATSMs no Atlântico tropical. A posição e intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) são afetadas e, por sua vez, influencia a precipitação no NEB.

Estas mudanças para Assis; Souza e Sobral, (2015) têm intensificado cada vez mais a problemática da escassez hídrica, sobretudo em áreas áridas e semiáridas do planeta, destacando o semiárido do Nordeste do Brasil, uma vez que apresenta uma grande tendência à aridização, acompanhada de diminuição da oferta hídrica em função da alteração nos padrões pluviométricos, com diminuição da frequência e intensidade das chuvas.

3.1.2 Influência dos sistemas atmosféricos no Nordeste do Brasil

O Nordeste Brasileiro inclui principalmente três tipos de clima: clima litorâneo úmido, clima tropical e tropical semiárido, com precipitação anual que varia de 300 mm a 2000 mm em que esta variação de climas observados se deve a diversos sistemas meteorológicos que induzem chuvas nessa região (SILVA, 2016). Para o presente estudo o clima de maior interesse de acordo com a posição da bacia do rio Mundaú é o tropical semiárido.

De acordo com Galvêncio (2010), existem pelo menos seis sistemas atmosféricos de maior interesse que interferem diretamente nas condições de tempo sobre o Nordeste brasileiro, no qual, a ação conjunta produz ou não precipitações na região, são eles: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as bandas de nebulosidade associadas a Frentes Frias, os Distúrbios de Leste, os Vórtices Ciclônicos e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN).

A variabilidade climática muito discutida no nordeste do Brasil provém do combinado da ação de diversos sistemas meteorológicos e das variações na intensidade e posição das circulações Hadley e Walker (TANAJURA et al. 2010). As mudanças nesta circulação são caracterizadas pela subsidência anormal durante os anos secos e movimento ascendente anormal durante os anos úmidos sobre o Nordeste (GENZ, 2006). Destaca-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que é o principal mecanismo para o processo de precipitação no norte do Nordeste durante a estação chuvosa que compreende os meses de fevereiro e maio (MOLION; BERNARDO, 2012).

Além da influência da ZCIT no período chuvoso, Lacerda e Lopes (2018) indicam que este mecanismo através do maior aquecimento do planeta e em consequência do oceano e do hemisfério norte há o seu reposicionamento que se localizando mais ao norte da sua posição

média, gerando secas recorrentes na região semiárida e os Vórtices Ciclônicos de Alto Níveis (VCAN).

A posição estratégica dos VCANs modula a precipitação principalmente pela variabilidade da precipitação na região Amazônica, pelas anomalias da temperatura da superfície do mar e pela variabilidade da alta subtropical do Atlântico Sul (NOGLES-PAEGLE; MO, 1997; CHAVES; CAVALCANTI, 2001; CHAVES; NOBRE, 2004), os VCANs são sistemas que apresentam alta significância na precipitação desta região, atuante principalmente no mês de janeiro. São transientes, variando muito de posição e não possuem uma sub-região preferencial para atuar, contudo, podem modificar as condições de tempo em todo o NEB por diversos dias (KOUSKY; GAN, 1981; ALVES, 2001).

Estes Vórtices são circulações ciclônicas fechadas na troposfera superior com centro frio, na qual ocorre nebulosidade e convecção em sua borda como verificado por Kousky; Gan (1981), Ramirez; Kayano; Ferreira (2009), Coutinho; Leal; Alonso, (2010). Os vórtices são observados nesta região no período que compreende a primavera, verão e outono, porém a frequência é maior no período do verão.

Segundo Andrade e Lins (1964) o que persiste no Nordeste o ano inteiro é o ar límpido. Límpido com reduzido teor de umidade relativa, sem grande arco no Atlântico, desde a costa sul-ocidental africana até o Nordeste, resultando em noites estreladas e transparentes do sertão. O efeito de instabilidade ocorre quando na massa de ar se desencadeiam correntes verticais, de ascensão e na medida que a umidade absoluta da massa seja bastante para acarretá-las, produzem condensações sob a forma de nuvens e breve chuvas podem vir a cair. A costa é baixa, e mesmo assim a fraca elevação a que a massa é forçada a chegar, desencadeia a instabilidade condicional, molhando quase só o bordo litorâneo e as encostas orientais da Borborema.

De acordo com Silva et al. (2008), em uma margem em mesoescala, destacam-se as LI e os distúrbios odulatórios de leste (TORRES; FERREIRA, 2011). Estes são sistemas atmosféricos que, de acordo com Oliveira et al., (2013), se desenvolvem ao longo da costa do Nordeste do Brasil trazidas através da influência das brisas marítimas e que se intensificam à medida que a onda de leste se faz presente, causando precipitação intensa principalmente no litoral.

Esta precipitação que ocorre em uma alta intensidade e, ou em um curto período de tempo é também influenciada por variabilidade interanual, por eventos atuantes como o El Niño ou Oscilação do Sul (ENOS) como visto por Kousky; Ropelewski, (1989), e pelo dipolo do Atlântico como em estudo elaborado por Souza; Nobre, (1998). O Dipolo do Atlântico,

como observado por Aragão (2004), é a mudança diferencial anômala das águas do Atlântico tropical norte e Atlântico tropical e equatorial sul. Esse fenômeno muda a circulação meridional da atmosfera através da célula de Hadley e inibe ou aumenta a formação de nuvens, causando anomalias na precipitação do Nordeste.

Estes eventos quando ocorridos na região semiárida do Nordeste Brasileiro, causa elevada vulnerabilidade, pois se as chuvas no período chuvoso são fracas, ocorre um prolongamento do período de estiagem com fortes secas, gerando impactos significativos, que muitas vezes dependem da agricultura familiar ou de sequeiro como meio de subsistência.

3.2 Técnica dos Quantis

A análise dos extremos precipitados é importante para a infraestrutura de controle de inundações, especialmente no tocante do aumento das intensidades da precipitação pluviométrica sob mudanças climáticas (BURGES et al. 2015). De acordo com o estudo, os registros de extremos precipitado incluem eventos que estão entre as maiores medições conhecidas de precipitação em nível global. Segundo Souza et al. (2012), o conhecimento das chuvas intensas ou que apresentam um efeito prolongado nas áreas urbanas torna-se de elevada importância, devido os inúmeros incidentes de variadas proporções que podem ocasionar, como inundações, deslizamentos de terra, pontos de alagamentos, colapso de serviços, perdas de vidas e econômica.

No Nordeste brasileiro em que as atividades agrícolas são dominantes como na bacia hidrográfica do Rio Mundaú, a produtividade das culturas é altamente dependente da quantidade de chuvas e da sua frequência e intensidade dos períodos secos durante a estação chuvosa (FARIAS et al. 2001), além de afetar diretamente o abastecimento de água ocasionado principalmente pela irregularidade da estação chuvosa na região (SILVA; CORREIA; COELHO, 1998). Existe, portanto, dificuldade entre os pesquisadores em avaliar e determinar extremos valores de precipitação. Afinal, a confiança em estabelecer valores em milímetros para diferentes regiões climática e configurar desastre natural exige atenção.

Diante disso, diversos órgãos ligados à meteorologia no Brasil utilizam o método dos quantis para auxiliar no monitoramento do regime pluviométrico, gerando um diagnóstico favorável para os períodos secos e chuvosos. Esta técnica estatística não paramétrico foi relatada por Conover (1999) e por Xavier e Xavier (1987). De acordo com o autor, este método estatístico envolve o princípio de relatividade estatística, interpretando de forma adequada o significado de um total pluviométrico. Esta técnica em relação aos demais usos

apresenta vantagens ao não precisar de uma assimetria na função densidade de probabilidade que é responsável por descrever o fenômeno aleatório, enquanto que outras técnicas necessitam da normalização pela média e desvio padrão tornando este último diretamente dependente da hipótese da normalidade da distribuição precipitada (XAVIER et al. 2002).

Em observação realizada por Ananias et al. (2010), esta técnica está intimamente relacionada com a distribuição da frequência acumulada e um maior número de observações, resultando em uma melhor aproximação da função densidade de probabilidade. Os quantis permitem estabelecer faixas com regime pluviométrico distintos, podendo classificar em período muito seco (Ms), seco (S), normal (N), chuvoso (C) e muito chuvoso (Mc), permitindo também quantificar as ordens quantílicas, utilizando-se apenas os dados de precipitação pluvial.

Segundo Coelho; Filho; Melo e Araújo (2017), o diagnóstico de frequência pode ser classificado em escala local ou regional de acordo com a extensão espacial das informações. Na frequência local, obtêm-se a definição de quantis de igualdade ou superação de valor estimado, a partir de uma série de registros hidrometeorológicos.

3.3 Cenários das mudanças climáticas

A Union of Concerned Scientists (2017), classifica as Mudanças Climáticas como “A questão socioambiental central do nosso tempo” por representar não apenas um fenômeno de alcance global e com impactos de elevada gravidade, mas por estarem relacionadas a uma série de outros desafios das sociedades contemporâneas, como a conservação da biodiversidade, produção e consumo de energia, segurança alimentar, refugiados ambientais e diversos outros problemas. Desde a década de 1980, as evidências científicas são cada vez mais fortes acerca da possibilidade de mudança do clima global por efeito antrópico (MARENGO, 2001). Estas mudanças climáticas globais são ocasionadas de acordo com as literaturas pelos acúmulos de gases de efeito estufa na atmosfera, dentre os quais destacam-se o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e os óxidos nitrosos (NO_x), resultando um grande desafio nos tempos atuais devido ao alto grau de industrialização.

De acordo com Solomon et al. (2007), o quarto relatório do IPCC conclui que o aumento de temperatura média da terra observada durante os últimos cem anos é devido às atividades antropogênicas relacionadas à queima de combustíveis fósseis e de florestas tropicais. Estes efeitos extremos do clima relacionados às elevadas temperaturas, secas, enchentes, ondas de calor e de frio, furacões e tempestades têm sido cada vez mais frequentes

e intensos, produzindo enormes perdas econômicas e de vidas em várias partes do planeta (EMANUEL, 2005).

As secas no NEB fazem parte da variabilidade natural do clima da região, que ocorreram no passado e estão ocorrendo no presente diante das evidências apresentadas pelas projeções de mudanças climáticas e que provavelmente continuaram e se intensificaram futuramente (MARENGO et al. 2016).

Sob os efeitos das ações das mudanças climáticas de acordo com Nóbrega et al. (2016), destaca-se o semiárido em que devido as condições de aumento de temperatura e mudanças na precipitação podem se tornar regiões áridas, alterando não só climaticamente a região, mas no âmbito fitogeográfico, nas práticas econômicas e sociais. Este quadro alarmante foi observado também por Oyama e Nobre (2003), em estudo elaborado para a Caatinga, em que observaram que este bioma está entre os mais vulneráveis em um cenário de aumento das temperaturas globais, o que classifica o NEB em estado de alerta, uma vez que a vulnerabilidade de tal bioma aos efeitos das mudanças climáticas representa uma pressão para a desertificação na região.

A redução da precipitação é um dos efeitos das mudanças climáticas na região em que diante exposto pelo (PBMCM 2013), ocorrerá alteração em até 20% por volta de 2040, com aumento de temperatura até 1 °C. O relatório, também indica que do ponto de vista geral, todo o Brasil até o fim do século ficará ao menos 3 °C mais quente, ocorrendo um aumento de 30% das precipitações nas regiões Sul e Sudeste e resultando em uma diminuição nas regiões Norte e Nordeste. Esta hipótese é levantada também por Magalhães (1992), ao produzir um cenário extremamente preocupante para esta região e as áreas semiáridas em geral, servindo como suporte tendências observadas no ano de 1992, acendendo o alerta para os riscos referidos às tensões socioambientais até o final do século XXI, principalmente no que se refere às atividades agrícolas refletindo diretamente na produção de alimentos nestas regiões que é resultado da indisponibilidade hídrica. O aumento da temperatura afeta de forma diferente cada tipo de cultivo como observado por Lozada e Angelocci (1999), do qual para determinado cultivo de milho híbrido as condições de luminosidade e umidade precisa necessariamente de uma temperatura ideal permanente.

As respostas ecológicas às alterações climáticas recentes já são claramente visíveis (WALTHER et al., 2002), o que gera implicações diretas à existência humana na terra. Os sistemas humanos que são sensíveis à mudança climática incluem principalmente os recursos hídricos, agricultura, silvicultura, zonas costeiras e sistemas marinhos, assentamentos humanos, energia, indústrias e a saúde humana. De acordo com Dias (2017), os animais são

afetados diretamente pelo nível térmico, do qual quando expostos a temperaturas elevadas e que são exteriores a sua zona de conforto térmico, acionam seus mecanismos de regulação e tornam seus metabolismos encarregados de mantê-los em funcionamento. A exemplo, destaca-se o estresse térmico que altera significativamente na produtividade animal, do qual, interfere no metabolismo e comportamento em vacas leiteiras, aumentando a temperatura corporal e da frequência respiratória, tal como mudanças no balanço químico corporal dos animais (SRIKANDAKUMAR; JOHNSON, 2004).

Domingues, Magalhães e Machado (2011), ao analisarem informações disponibilizadas pela EMBRAPA e adaptadas à estrutura do modelo EGC que serve de suporte a um modelo de equilíbrio geral computável que é amplamente utilizados no estudo de mudanças climáticas e políticas de mitigação (taxação de carbono), projetando os impactos econômicos sobre as regiões brasileiras, observou que os resultados indicaram um elevado potencial de perdas econômicas no Nordeste, especialmente nos estados mais pobres, no qual a necessidade de políticas de mitigação e de controle de emissões de gases de efeito estufa faz-se necessário, pois, a ausência destas políticas os efeitos econômicos decorrente das mudanças climáticas geram mais impactos e fluxos migratórios, refletindo na forma de elevada pressão sobre serviços de infraestrutura urbana das metrópoles do Nordeste e de outras regiões do país.

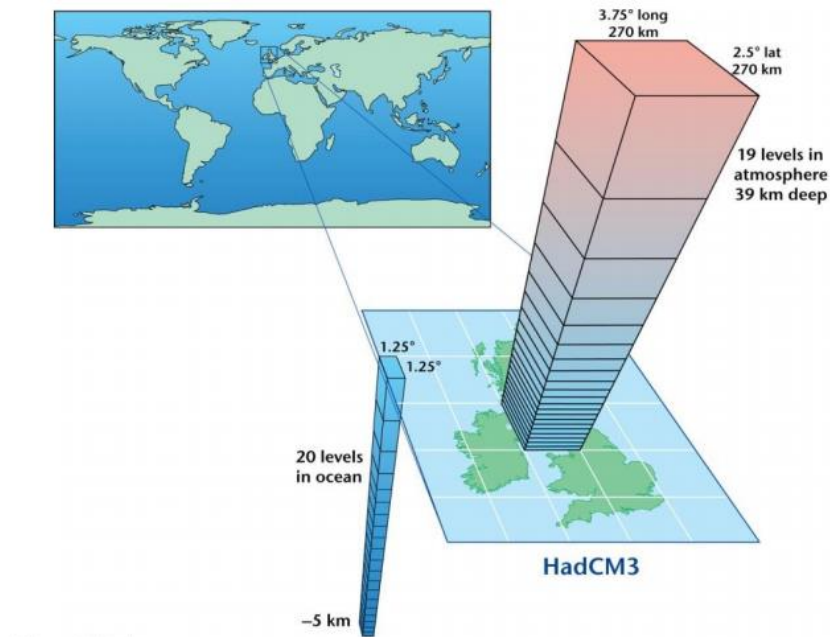
3.4 Modelos Climáticos

Os modelos climáticos são códigos computacionais que representam equações matemáticas que regem os movimentos atmosféricos e as interações com a superfície, podendo ser aplicado a simulação do clima passado, do clima presente, e estudos de sensibilidade para identificação de processos e entendimentos físicos (NEUHAUS, 2017). De acordo com o Global Change Master Directory da NASA, o modelo HadCM3 desenvolvido no ano de 1999, é um dos principais modelos utilizados, servindo de suporte informacional para os Relatórios de Avaliação do IPCC. Este modelo é acoplado oceano-atmosfera desenvolvido no Hadley Centre, UK Meteorological Office, da Grã-Bretanha e não precisa de ajustes nos fluxos de energia no oceano para produzir uma boa simulação.

O modelo HadCM3 possui 19 níveis verticais com resolução horizontal de 2,5° de latitude e 3,75° de longitude, que produz uma grade global de 96 x 73 células (Figura 1). Cada célula equivalente a uma resolução superficial de aproximadamente 417 km x 278 km na

região equatorial, sendo reduzida para 295 km x 278 km na latitude de 45°. A componente oceânica do modelo HadCM3 apresenta 20 níveis (NEUHAUS, 2017).

Figura 1: Funcionamento do modelo climático acoplado oceano-atmosfera HadCM3



Fonte: Mett Office, 2014.

Diante das incertezas quanto a variabilidade climática e temporal das precipitações, previsões numéricas regionais, utilizando modelos matemáticos servem de suporte para minimizar os impactos das precipitações. as chamadas técnicas de “downscaling dinâmico” utilizando Modelos Climáticos Regionais (MCR) que permitem um maior detalhamento espacial e temporal das variáveis do sistema climático, tornam-se uma ferramenta útil para estudar as mudanças e as flutuações climáticas em escala regional.

Para Valverde Brambila et al. (2004), a técnica downscaling serve para a diminuição da escala espacial a partir de um modelo de grande escala, para um modelo em escala regional servindo de suporte para a necessidade de informações mais detalhadas no tempo e no espaço dos produtos de previsão numérica de tempo e clima. Uma revisão comparando os vários métodos de *downscaling* aplicados é visto em Wilby; Wigley (1997) e Giorgi et al. (2001).

A versão do modelo ETA que roda operacionalmente no CPTEC, INPE é hidrostático e com resolução horizontal de 40km, além de outra de 20 km, ambas com 38 camadas na vertical que cobrem a maioria da América do Sul. São fornecidas informações em condição

inicial as 0000 UTC e outra às 1200 UTC. Foi inicialmente desenvolvido na Universidade de Belgrado, e utiliza uma grade E de Arakawa (ARAKAWA; LAMB, 1997) e coordenada vertical eta (h) (MESINGER, 1984).

De acordo com Black (1994), o Modelo ETA vem sendo realizado pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, INPE), desde dezembro de 1996. Estas previsões, que são fornecidas duas vezes ao dia, cobrem a maior parte da América do Sul e os oceanos adjacentes. Para Chou (1998), um modelo de maior resolução horizontal busca-se o maior detalhamento da previsão, e consequentemente, uma ideal qualidade da previsão. Diversos estudos têm demonstrado que os modelos regionais, em particular o Eta, apresentaram boas simulações das variáveis meteorológicas em escalas sazonais e intra-sazonais como analisados por Chou et. al. (2000); Seluchi, (2000); Alves et al. (2000); Tanajura (1996); Ji; Vernekar, (1997) e Bustamante et. al. (2002), incluindo regiões como a Região Sul e Sudeste do Brasil, que apresentam baixa previsibilidade nas simulações (MARENGO et al. 2003; CAVALCANTI et al. 2000; CAVALCANTI et al. 2002).

Porém, de acordo com Moura et al. (2010), estas previsões através dos modelos numéricos de tempo apresentam erros sistemáticos que ocorrem através da representação dos processos físicos atuantes e das condições de fronteira e inicial utilizadas nos modelos, principalmente nos momentos de transição de uma estação climática anual para outra. Para o mesmo autor, certos eventos extremos do clima, os modelos não são capazes de captar sistemas intensos, apresentando baixa qualidade nas previsões, podendo subestimar ou superestimar a intensidade e o posicionamento desses sistemas meteorológicos em uma determinada região. Porém, conhecendo o comportamento dos modelos e como eles variam dependendo da estação do ano, região, horário inicial de integração, da resolução e da quantidade e qualidade das observações, diversos estudos como observados por Tarasova et al. (2006); Coêlho et al. (2006) e Ropelewski; Bell (2008) foram desenvolvidos para melhorar a qualidade das previsões de tempo e clima destes modelos de previsão numérica.

Para Alves et al. (2000), através de simulações climáticas sazonais com o modelo Eta, estudaram o comportamento pluviométrico do verão de (1998-1999) e o inverno de (1999), mostrou que a distribuição espacial e o número de dias com precipitação de intensidade fraca a moderada foram relativamente bem simulados. A simulação utilizada em estudo elaborado por Vernekar et al. (2003) utilizando a versão NCEP em modo climático, com o objetivo de estudar os jatos de baixos níveis e seus efeitos no clima do verão da América do Sul em simulações dos verões de 1983, 1985, 1987, 1989 e 1991 (janeiro a março). Seus 34 resultados mostraram que as simulações foram muito mais refinadas do que as da reanálise.

Suas simulações conseguiram reproduzir a variabilidade diurna da precipitação, que apresenta máximos anoite.

Saulo et al. (2000) e Berbery e Collini (2000), também estudando através de previsões de tempo do modelo regional Eta do Centro de Previsões do Tempo e Estudos Climáticos-CPTEC mostrou que os padrões de convergência de umidade e de precipitação simulados nestes estudos mostraram um ciclo diurno coerente, com máximos noturnos esperados na precipitação, porém, evidenciando diferenças na magnitude e na altura de máxima velocidade do vento horizontal.

Quando comparado acertos em diferentes regiões brasileiras, em estudo elaborado na região Amazônica apresentou índices de acerto de previsão de precipitação maiores do que para a região Nordeste, por exemplo, esse caso é comentado por Chou et al. (2005), do qual sugere que a extensão do domínio de integração do modelo pode resultar em melhorias nas previsões.

Baseado nos resultados comentados neste capítulo, verifica-se que existe uma elevada diversidade bibliográfica, na utilização da modelagem numérica regional em sua maioria, com objetivo de melhor compreender o clima. Entretanto, como observado, muitos desses estudos mostram que os modelos regionais que por sua vez apresentam melhora expressiva sobre algumas regiões brasileiras, para outras, apresentam erros relativamente altos e que muitas vezes não fornecem informações adicionais em relação aos modelos globais fazendo-se necessário, cautela ao utilizar este tipo de modelagem para a região Nordeste do Brasil.

3.5 Vulnerabilidade

Em estudos abrangentes desenvolvidos pelo NAE (2005), Kayano e Andreoli (2009) e Marengo (2011), discutem a vulnerabilidade do semiárido aos extremos da variabilidade de clima e suas mudanças. Na região semiárida do Nordeste do Brasil, representado por 86% do território nordestino, vivem cerca de 30 milhões de pessoas, número que representa cerca de 15% da população nacional. Dados disponibilizados pelo Censo de 2000, verificou-se que 69% da população do semiárido era considerada como pobre, embora a situação presente nos anos anteriores fosse ainda pior, do qual, correspondia a cerca de 81% da população (SEI, 2006). Como conceitos secundários ligados à vulnerabilidade, observa-se o risco e perigo. O risco é definido por Veyret (2007), como a percepção de um perigo possível, mais ou menos previsível por um grupo social ou um indivíduo que tenha sido exposto, enquanto que perigo

é o evento propriamente dito, como deslizamentos e ou enchentes, do qual aquele é o causador os danos ou prejuízo.

De acordo com as projeções apresentadas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, (IPCC AR4, 2007), a representação das mudanças climáticas junto com a vulnerabilidade da sociedade, resulta em um relevante incremento dos desastres, como os eventos de secas e eventos extremos de chuvas. Esta hipótese é sustentada por Tobin e Montz (1997) e Marcelino (2007), em que estes desastres naturais são definidos como o resultado do impacto de fenômenos naturais extremos e de alta intensidade sobre um sistema social, causando sérios danos e prejuízos que extrapolam a capacidade da comunidade ou da sociedade atingida de conviver com o impacto.

Esta irregularidade das chuvas representa um dos obstáculos constantes para o desenvolvimento das atividades agropecuárias, e o armazenamento de água que está presente na mão de poucos, intensifica ainda mais os efeitos sociais (MARENGO, 2010). Este evento irregular que está diretamente relacionada aos efeitos das mudanças climáticas, em que, de acordo com o mesmo autor:

“... A combinação das alterações do clima, na forma de falta de chuva ou pouca chuva acompanhada de altas temperaturas e altas taxas de evaporação e, com a competição por recursos hídricos, podem levar a uma crise potencialmente catastrófica, sendo os mais vulneráveis os agricultores pobres, como os agricultores de subsistência na área do semiárido do Nordeste. Com um semiárido mais árido e com maior frequência de secas, a base de sustentação para as atividades humanas diminuirá, sendo provável que aumente o deslocamento da população para as cidades ou para as áreas onde seja possível desenvolver a agricultura irrigada” (MARENGO 2010, p.154).

Como resultado direto dos efeitos do clima, resulta na produtividade da região, do qual, a região semiárida apresenta uma agricultura com baixa produtividade e os setores de comércio e serviços apresentam um baixo dinamismo em relação às demais regiões do estado (ALCOFORADO, 2003). No contexto que envolve a população e aquelas com menos recursos e com menor capacidade de adaptação (NAE 2005), classificam esses como mais vulneráveis, em que o estudo desenvolvido pelo Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República em 2005 sugere que a região Nordeste é que representa maior vulnerabilidade a tais mudanças climáticas.

Campos (1996) discorre que anos de seca como o ocorrido em 1870, gerou consequências consideráveis no que se refere a sua vulnerabilidade em que os anos de 1877 e 1878 representou a maior seca na região nordeste, refletindo na mortandade de 500 mil habitantes no Ceará e outros estados vizinhos, refletindo em 50% da população. Para Reis et

al. (2017), em estudo elaborado para o estado de Pernambuco, observou que o ano de 2010 foi marcado como o ano que se viu o maior desastre natural já registrado, sendo o mês de junho o mês marcante por apresentar a mais severa temporada de chuvas do qual, foram afetados 77 municípios, sendo decretado Estado de Calamidade Pública por 12 municípios e Situação de Emergência por mais 30 municípios, do qual ocorreram deslizamentos de barreiras e inundações de residências.

No âmbito da vulnerabilidade que ocorre nas cidades, para Barbosa et al. (2017), esses ambientes são territórios que apresentam uma grande vulnerabilidade, não só ambiental, mas de todos os tipos de risco, devido à falta de acesso aos meios de infraestrutura, bem como a grande desigualdade social existente nas aglomerações urbanas, principalmente nos países em desenvolvimento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

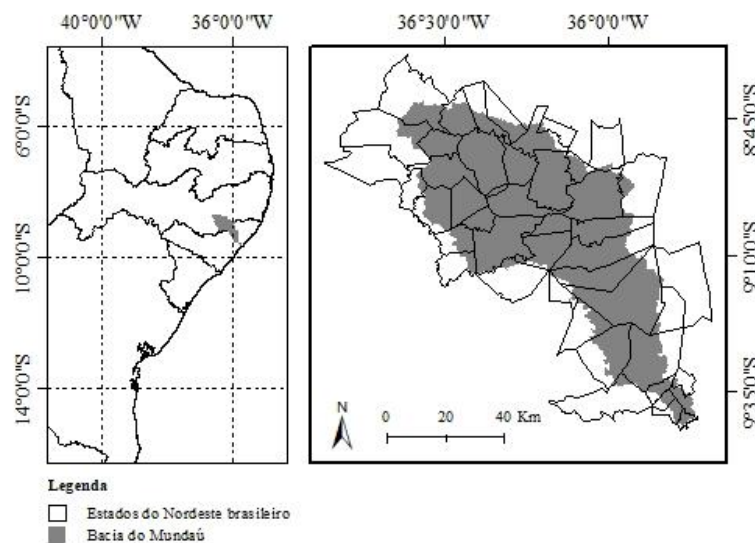
Os itens aqui presentes têm como foco principal a delimitação e caracterização da área de estudo, com todas as informações pertinentes à corrente análise, tais como localização, clima, geologia e geomorfologia, vegetação e hidrografia. Posteriormente, são expostos os dados que subsidiaram o diagnóstico da pesquisa, seguido dos procedimentos de realização da mesma, com uma descrição detalhada das metodologias utilizadas.

4.1 Caracterização da área de estudo

4.1.1 Localização e geomorfologia

A bacia hidrográfica do rio Mundaú está localizada nos estados de Pernambuco e Alagoas (Figura 2). A porção compreendida no território pernambucano (Unidade de Planejamento Hídrico UP6) localiza-se entre as coordenadas 08° 41' 34" e 09° 14' 00" de latitude sul, e 36° 03' 36" e 36° 37' 27" de longitude oeste. De acordo com Silva; Sousa e Kayano, (2010), é composta por 30 municípios. Geograficamente, a bacia está inserida na Província estrutural Borborema (Almeida et al. 2013). Esta bacia está inserida no terreno pré-cambriano (Criptozóico) e terreno sedimentares fanerozóicos do Grupo Barreiras, no baixo curso. Seu alto curso situa-se no compartimento regional de relevo denominado Planalto da Borborema. Nesta área são constantes e intensos ciclos tectono-metamórficos, sendo o último evento denominado de ciclo Brasiliano, destacando-se diversas zonas de cisalhamento na área.

Figura 2 – Localização da bacia hidrográfica do rio Mundaú no Nordeste do Brasil.



Fonte: Elaborado por Mariana Caroline Gomes de Lima (2018).

4.1.2 Hidrologia e climatologia

O rio Mundaú nasce no município de Garanhuns-PE, com cerca de 69 km percorrendo áreas do estado de Pernambuco, sendo os principais afluentes em Pernambuco pela margem direita: riacho Conceição, riacho Salgado, rio Correntes e rio Mundaúzinho e pela margem esquerda, o rio Canhoto. O rio Canhoto deságua em território alagoano, é o tributário mais importante do rio Mundaú e tem por sua vez como principal contribuinte o rio Inhaúma, que drena todo o município de Palmeirinha. Este rio é o mais importante da bacia, é perene e tem uma precipitação média anual de 900 mm e uma vazão média anual de 30,6 m³/s. Os máximos valores de precipitação concentram-se próximos à região litorânea, com médias em torno de 2.000 mm. Verifica-se diminuição na precipitação à medida que se adentra no continente, devido à aproximação da região do polígono das secas (GOMES et al., 2004).

O clima da bacia é quente com temperaturas médias anuais em torno de 24°C. As chuvas registradas entre os meses de fevereiro a julho correspondem à aproximadamente 72,6% de toda precipitação anual. O período chuvoso coincide com a época em que esta região está sujeita a atuações de distúrbios de leste, chamados de ondas de leste e intensificam as chuvas, principalmente à noite nesta área (COSTA et al. 2005). Sistemas como a Frente Polar Atlântica também é dominante sob a bacia, do qual, de acordo com Girão et al., (2006), estas perturbações no litoral do Nordeste do Brasil, alteram as condições de tempo.

Devido às chuvas intensas que ocorrem de forma irregular em um curto período de tempo de acordo com Rosal e Montenegro (2010), a bacia possui um elevado histórico de enchentes, onde destaca-se sete eventos que atingiram a região nos anos de (1914, 1941, 1969, 1988, 1989, 2000, 2010). Dentre estas enchentes, a ocorrida no ano de 1969 merece destaque pois resultou em uma catástrofe no âmbito ambiental e social do qual, resultou em 4 horas, 1.100 pessoas mortas e desabrigando outras 10 mil pessoas no Estado de Alagoas.

4.2 Metodologia

O presente estudo baseia-se no método de pesquisa quali-quantitativa e o método Hipotético-Dedutivo, ou seja, qualitativa por utilizar métodos produzindo informações aprofundadas e ilustrativas (DESLAURIERS, 1991). Quanto a quantitativa, análise de dados brutos, recorrendo à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno. Quanto ao objetivo, concentra-se na pesquisa explicativa pois, identifica os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos (GIL, 2002). E o método hipotético-

dedutivo pressupõe o uso de inferências dedutivas como teste de hipóteses (FERREIRA, 1998).

4.2.1 Dados

- Precipitação pluviométrica

O levantamento dos dados de precipitação pluviométrica diária para a bacia do Mundaú de 01 de janeiro de 1963 até 31 de dezembro de 2017, foram obtidos através das estações monitorados pela Agência Pernambucana de Água e Clima- APAC, Agência Nacional de Águas-ANA e pelo Instituto de Nacional de Meteorologia -INMET para 28 municípios destacados na tabela 1.

Tabela 1 - Municípios analisados e suas respectivas séries históricas.

Município	Período de Falhas	Série Histórica
Angelim - PE	-	1993 a 2017
Brejão - PE	1980,1987 a 1992, 2007, 2009	1962 a 2017
Bom Conselho - PE	1982 a 1984,1985 a 1992,2000,2003,2004,2011	1962 a 2017
Caetés - PE	1964,1965,1972,1973,1981,1990- 2000,2008,2011	1963 a 2017
Calçado - PE	-	1963 a 2017
Capoeiras - PE	-	1963 a 2017
Capela - PE	-	1963 a 2017
Chã Preta - PE	-	1963 a 2017
Canhotinho - PE	1992,2003,2004,2006	1963 a 2017
Garanhuns - PE	1969,1970,1989-1992	1963 a 2017
Palmeirina - PE	-	1963 a 2017
Jucati - PE	1999,2003,2004,2006	1963 a 2017
Jurema - PE,	-	1963 a 2017
Jupi - PE	-	1963 a 2017

Lagoa do Ouro PE	-	1963 a 2017
São João - PE	-	1963 a 2017
Satuba - PE	-	1963 a 2017
Atalaia - AL	-	1963 a 2017
Branquinha – AL	-	1963 a 2017
Rio Largo - AL	Jan a Dez de 1992, Mar de 1993 a Dez de 1994 Mar 1994 a Ago de 1996, Nov de 1996, Mar a Ago 1997	1963 a 2000
Ibateguara	-	1963 a 2017
Maceió - AL	-	1963 a 2017
Messias - AL	-	1963 a 2017
Murici - AL	1963 a 1966, 1969 a 1992	1963 a 2017
União dos Palmares - AL	-	1915 a 1991
Pilar – AL	-	1063-2017
São José da Laje - AL	-	1991 a 2017
Santana do Mundaú - AL	Dez de 2010	1991 a 2017

Fonte: Elaborado por Mariana Caroline Gomes de Lima (2018).

Vale ressaltar que devido a indisponibilidade de dados e a presença de falhas, outras estações com uma série de dados menores foram consideradas, diante da necessidade em analisar uma série histórica com o mesmo período, acrescentando os municípios de Atalaia (AL), Branquinha (AL), Calçado (PE), Capoeiras (PE), Capela (PE), Chã Preta (PE), Ibateguara (AL), Jupi (PE), Jurema (PE), Lagoa do Ouro (PE), Maceió (AL), Messias (AL), Palmeirina (PE), Pilar (AL), São João (PE) e Satuba (PE).

Foram adquiridos os cenários climáticos da precipitação pluviométrica total anual dos anos de 2025 e 2055 para o cenário A1B, junto ao Centro de Previsão de Tempo e Clima do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE)

- Desastres

Foi realizado o levantamento dos dados de desastres (secas, estiagem, alagamentos, inundações, afetados, desabrigados, desalojados, deslocados e óbitos) decorrentes dos extremos climáticos, dos 30 municípios que compõem a bacia do rio Mundaú no período de 1961 a 2017, por meio de Decretos, Portarias (atos administrativos) e Avadan (avaliação de danos), fornecidos pelo Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) do Ministério da Integração Nacional.

- Sócioambientais

Também foram utilizados dados do censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE referente às variáveis densidade demográfica, renda percapita média, população total, índice de desenvolvimento humano, condições de habitabilidade, e acesso das pessoas a serviços básicos para os 30 municípios da bacia do rio Mundaú.

4.2.2 Análise dos eventos extremos da precipitação pluviométrica e do padrão hidroclimático

Para avaliar os eventos extremos de precipitação e para caracterizar o padrão hidroclimático na bacia do rio Mundaú foi utilizado o aplicativo Climap 3.0, que auxilia a análise das séries de dados meteorológicos de chuva e de temperatura do ar com a associação de informações e criação de gráficos. Neste trabalho utilizaram-se apenas as séries de precipitação pluviométrica.

O aplicativo Climap 3.0 foi desenvolvido por Salvador (2014), cuja programação utilizada no desenvolvimento software foi a Python 2.7.6 (ROSSUM, 1992). A escolha desta linguagem computacional se deve ao fato de ser uma estrutura lógica mais próxima da linguagem convencional escrita, minimizando tempo em resolver problemas que fogem do escopo profissional de pesquisadores, apresentando uma excelente alternativa de uma ferramenta de fácil aprendizado Salvador (2017). Para utilizar o aplicativo é necessário que os dados estejam organizados e em formato txt onde, os dados faltantes são preenchidos por NULL. Os dados utilizados foram diários e organizados para cada localidade contendo na sequência das colunas: ano, mês, dia e chuva (mm), e como saída dos dados mensais, trimestrais e anuais dos índices a seguir:

i. Totais mensais, trimestrais e anuais da precipitação pluviométrica;

ii. DPP: Desvio padronizado da precipitação dos totais mensais, trimestrais e anuais.

DPP = desvio-padrão (1);

$$\sqrt{\sum \frac{(x-x^-)^2}{(n-1)}} \quad (1)$$

- iii. Pr1: Número de dias por ano com chuvas significativas (≥ 1 mm,dia);
- iv. Pr10: Número de dias por ano com precipitação ≥ 10 mm;
- v. Pr20: Número de dias por ano com precipitação ≥ 20 mm;
- vi. Pr50: Número de dias por ano com precipitação ≥ 50 mm;
- vii. Per95p: Número de dias com precipitação $\geq$ ao percentil 95 das chuvas significativas (ocorrência,ano);
- viii. Per99p: Número de dias com precipitação $\geq$ ao percentil 99 das chuvas significativas (ocorrência,ano);
- ix. Prmax1d: Maior precipitação ocorrida em um dia por ano (mm).

Para a análise decadal as séries históricas foram divididas em seis períodos, a saber: 1960 a 1969, 1970 a 1971, 1981 a 1989, 1990 a 1999, 2000 a 2009, 2010 a 2017), onde foi realizada a média aritmética da precipitação pluviométrica total anual referente as décadas mencionadas e ao período 2010 a 2017 (8 anos) para bacia hidrográfica do rio Mundaú. O método de interpolação utilizado para espacialização dos dados das estações pluviométricas foi a Krigagem, que de acordo com LANDIM (2000) esse método apresenta a melhor precisão para a variável precipitação.

4.2.3 Técnica dos Quantis

Os dados mensais de precipitação contidos na Tabela 1 foram submetidos também à técnica dos quantis. Esta técnica define o número de vezes em que um determinado valor de uma variável se repete. A técnica aqui descrita foi obtida em Xavier e Xavier (2002) para avaliar a ocorrência de anos secos ou chuvosos.

Por definição, Q_p é um limite do intervalo do quantil para uma determinada variável aleatória X , sendo p a probabilidade de ocorrência, do qual X seja menor que Q_p . Assim, o intervalo associado a um quantil deve satisfazer a seguinte equação:

$$\text{Prob}(X \leq Q_p), \text{ onde } (0 < 1)$$

Em estudo proposto por Pinkayan (1966), os quantis utilizados eram para p : 0,15; 0,35; 0,65 e 0,85. Estes quantis utilizados por Pinkayan referiam-se às probabilidades, ou seja, (0,15),

(0,35), (0,65) e (0,85) de forma que para cada período i considerou-se como visto na seguinte Tabela 2:

Tabela 2- Determinação das categorias e probabilidades da precipitação mensal relacionada às ordens quantílicas para os municípios que compõe a bacia do Rio Mundaú.

Clima	Ocorrência
Muito Seco (MS)	$X_i \leq Q_{0,15}$
Seco (S)	$Q_{0,15} < X_i < Q_{0,35}$
Normal (N)	$Q_{0,35} \leq X_i < Q_{0,65}$
Chuvoso (C)	$Q_{0,65} \leq X_i < Q_{0,85}$
Muito chuvoso (MC)	$X_i \geq Q_{0,85}$

Fonte: Xavier e Xavier (2002).

De acordo com Xavier e Xavier (2002), os intervalos percentuais de cada quantil representam as probabilidades ou frequências esperadas para cada um dos eventos que podem vir acontecer na sequência ou série temporal, do qual, são mantidas as características para as precipitações. Estes quantis denominados como empírico (através de frequências observadas ou modeladas), são estimativas dos quantis teóricos, que permanecem desconhecidos, mas supomos ser representantes apropriados para a descrição do fenômeno.

Para determinação dos quantis e das frequências utilizou-se o software GRETl (que permite a análise quantílica). Foi confeccionada planilha do Excel com os dados diários de precipitação para entrada no software GRETl. O programa permite ao usuário definir critérios de acordo com o objetivo proposto.

4.2.3.1 Software GRETl

É um pacote multi-plataforma para análise econométrica, escrito em linguagem C. Este software livre e de código aberto que pode ser redistribuído ou modificado de acordo com os termos da Licença Pública Geral (GPL) publicada pela Free Software Foundation. Este programa permite além de aplicações econômicas, aplicações nas mais diversas áreas, especialmente nas questões ambientais.

Apresenta como características principais:

- Interface fácil disponível em diversos idiomas;

- Ampla variedade de estimadores baseados em mínimos quadrados, incluindo mínimos quadrados de duas fases e mínimos quadrados não-lineares;
- Linguagem de script integrada;
- Controle em interface gráfico para afinação de parâmetros dos gráficos Gnuplot;
- Compatível com GGNU R para análises estatísticas mais avançadas.

Além do citado acima, o software lê ficheiros no formato próprio XML, csv (valores separados por vírgulas), folhas de cálculo Excel e Gnumeric, ficheiros BOX1, bases de dados em formato próprio binário (permitem guardar frequências de dados e dimensões das séries) e base de dados RATS 4.

A partir de então foram elaboradas tabelas com as frequências absolutas e relativas mensais para cada categoria, assim como, representação gráfica da precipitação máxima e mínima observada com indicação dos anos de ocorrência, nas categorias Muito Seco, Seco, Normal, Chuvoso, Muito Chuvoso, retratando a variabilidade da precipitação mensal, assim como, apresentar esta proposta para determinar a intensidade da precipitação mensal, que é de elevada importância para a agricultura, recursos hídricos, turismo, entre outros setores.

4.2.3.2 *Cenários climáticos futuros*

Para gerar cenários para a bacia hidrográfica do rio Mundaú, foram adquiridos no Centro de Previsões do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, INPE) os cenários climáticos correspondentes aos períodos de 2025 e 2055 para o cenário A1B para Pernambuco. Estes cenários são baseados no modelo HadCM3, e gera condições de contorno e fornece condições para o modelo regional ETA.

O modelo ETA inclui o aumento dos níveis de concentração de CO₂ conforme o cenário de emissão. Este modelo reproduz o cenário A1B do IPCC SRES, fornecido pelo modelo global acoplado oceano-atmosfera HadCM3, em quatro membros (versões) de perturbação do modelo global (sem perturbação - CNTRL; baixa sensibilidade - LOW; média sensibilidade e - MID; alta sensibilidade - HIGH).

4.2.4 Impactos associados aos eventos extremos

Neste trabalho, para avaliar os impactos associados aos eventos extremos de precipitação (chuvas e ausência de chuvas), foram contabilizados os desastres registrados no

período de 1961 a 2017 na bacia do rio Mundaú referentes às chuvas, a saber: inundação, enxurrada, alagamento e erosão de margem pluvial; os desastres decorrentes da ausência de chuvas (secas), que correspondem aos registros das secas e estiagem; e os desastres totais, que equivalem a contabilização dos desastres associados às chuvas, secas, doenças infecciosas e processos de erosão registrados no MIN. Também foi realizado o somatório do número de óbitos, pessoas afetadas, desalojadas, desabrigadas e deslocadas para o mesmo período.

Em seguida, foram elaborados mapas com identificação dos municípios com registros de desastres decorrentes das chuvas, secas, desastres totais, e óbitos ao longo da bacia. A partir do levantamento do número de pessoas afetadas, desalojadas, desabrigadas e deslocadas de 1961 a 2017 foi elaborada uma tabela destacando os municípios onde ocorreram esses registros.

4.2.5 Índices de risco e de vulnerabilidade

Para determinar os índices de risco à desastre e de vulnerabilidade da população frente aos eventos extremos foi utilizada a equação de Risco Meira (2 e 3) (Souza et al. 2015), que é função dos desastres associados às variações climáticas e dos indicadores socioeconômicos:

$$R = \frac{P(DD + RM + PT + H)}{IDH} \quad (2)$$

$$V = DD + RM + PT + H \quad (3)$$

Em que, R: risco a desastre; P: perigo, expresso pelo número de desastres registrados em função das variabilidades climáticas (desastres associados às chuvas e as secas); DD: densidade demográfica, que é obtido a partir da razão entre a população residente total e a área da cidade (hab,km²); RM: renda percapita média; PT: população total existente; H: condições de habitabilidade, e o acesso das pessoas a serviços básicos nas cidades; IDH: índice de desenvolvimento humano, obtido pela média aritmética de três sub-índices, referentes às dimensões Longevidade (IDH-L), Educação (IDH-E) e Renda (IDH-R). Os dados das variáveis DD, RM, PT e IDH correspondem ao censo de 2010 do IBGE, e os registros de desastres foram obtidos por meio do Ministério da Integração Nacional para 30 municípios no período de 1961 a 2017.

A partir da equação de Risco Meira foram obtidos os índices de risco e de vulnerabilidade nos municípios que compõe a bacia do rio Mundaú, e confeccionados os mapas desses índices, assim como os mapas da população, renda, DD, IDH, IDH-L, IDH-E e

IDH-R através do software ArcGis-9.3. Adotaram-se quatro classes: baixa, média, alta e muito alta, definidas pelo método do Desvio Quartílico, conforme Ramos e Sanchez (2000).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Eventos extremos da precipitação pluviométrica e padrão hidroclimático

Na presente seção, os eventos extremos das precipitação (chuvas intensas e secas) e o padrão hidroclimático foram avaliados a partir da análise da distribuição temporal da climatologia mensal (média histórica mensal), da distribuição espacial da climatologia da precipitação pluviométrica total anual e do período chuvoso (abril a julho) para a bacia hidrográfica do rio Mundaú no período de 1963 a 2017. Também foram analisados os gráficos gerados a partir do Climap dos municípios da bacia, a saber: médias históricas mensais e trimestrais, desvios padronizados, e os índices de extremos climáticos da precipitação pluviométrica. Esta análise demonstra o comportamento da variável precipitação no período de 1961 a 2017, possibilitando o conhecimento da sua distribuição, do regime pluviométrico e sua variabilidade temporal, bem como a ocorrência de eventos extremos de precipitação, contribuindo diretamente no desenvolvimento de diversas atividades na região.

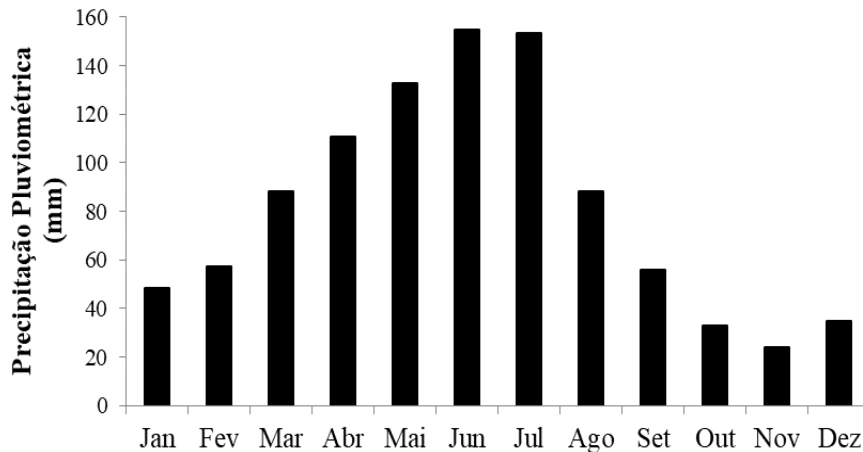
5.1.1 Climatologia da precipitação

A distribuição temporal da climatologia da precipitação pluviométrica mensal (Figura 3), que corresponde a média aritmética mensal da precipitação de 1961 a 2017 das estações pluviométricas da bacia do rio Mundaú, demonstra que o período úmido corresponde ao período de março a julho, com destaque para o meses mais chuvosos (abril, maio, junho e julho) com valores médios acima de 500 mm nesse quadrimestre, onde concentra 56% do total anual. De acordo Lacerda, Ferreira e Souza (2006), as Ondas de Leste e a Zona de Convergência Intertropical são os principais sistemas meteorológicos responsáveis pelas chuvas nesse quadrimestre. O período seco concentra-se entre os meses de setembro a fevereiro, com valores médios mensais entre 20 e 60 mm.

Com relação à distribuição espacial da climatologia da precipitação pluviométrica anual e do período chuvoso (abril a julho) na bacia hidrográfica do rio Mundaú (Figura 4a,b), verifica-se que os maiores valores são registrados próximo ao Litoral e vão diminuindo a medida que se afastam dessa região, com exceção das áreas de microclima, que apresentam altitudes mais elevadas, como exemplo Garanhuns e Brejão com totais anuais de precipitação acima de 800mm. Na Figura 4a observa-se que os maiores valores de precipitação total anual concentram-se no sul da bacia, acima de 1200 mm, e no período chuvoso oscilam entre 700 e

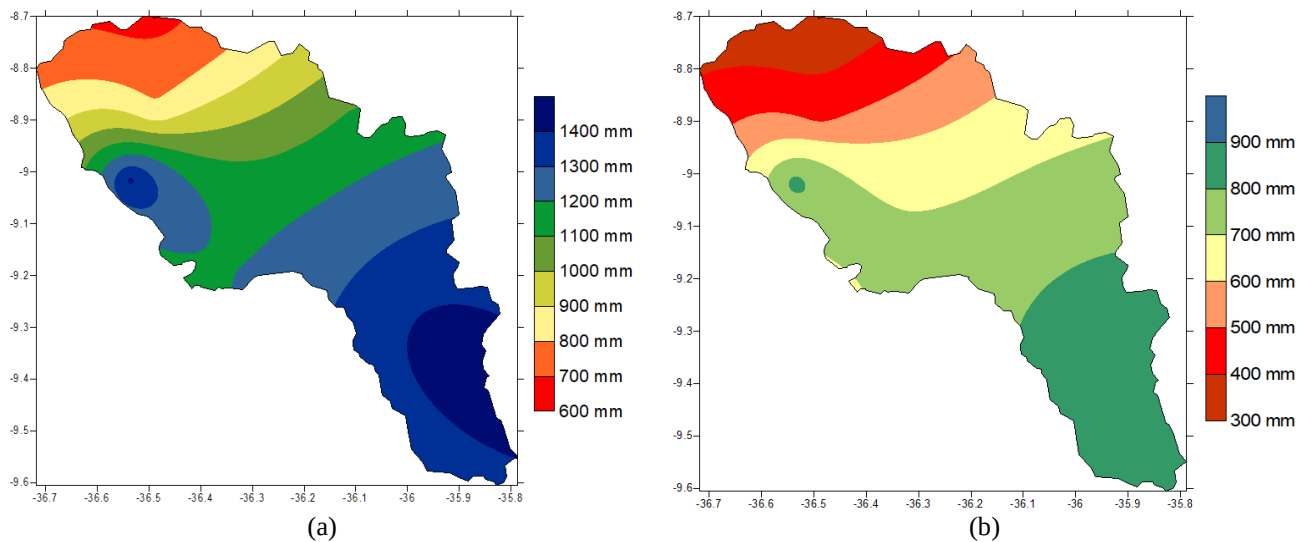
900 mm (Figura 4b). No norte e noroeste da bacia são registrados os menores valores a precipitação, abaixo de 600 mm durante o quadrimestre mais chuvoso.

Figura 3- Climatologia da precipitação pluviométrica mensal para a bacia do rio Mundaú durante o período de 1963 a 2017.



Fonte: Elaborado por Mariana Caroline Gomes de Lima (2018).

Figura 4- Distribuição espacial da climatologia da precipitação pluviométrica (a) anual e do (b) período chuvoso (abril a julho) na bacia hidrográfica do rio Mundaú no período de 1963 a 2017.



Fonte: Elaborado por Mariana Caroline Gomes de Lima (2018).

5.1.2 Médias históricas mensais e trimestrais

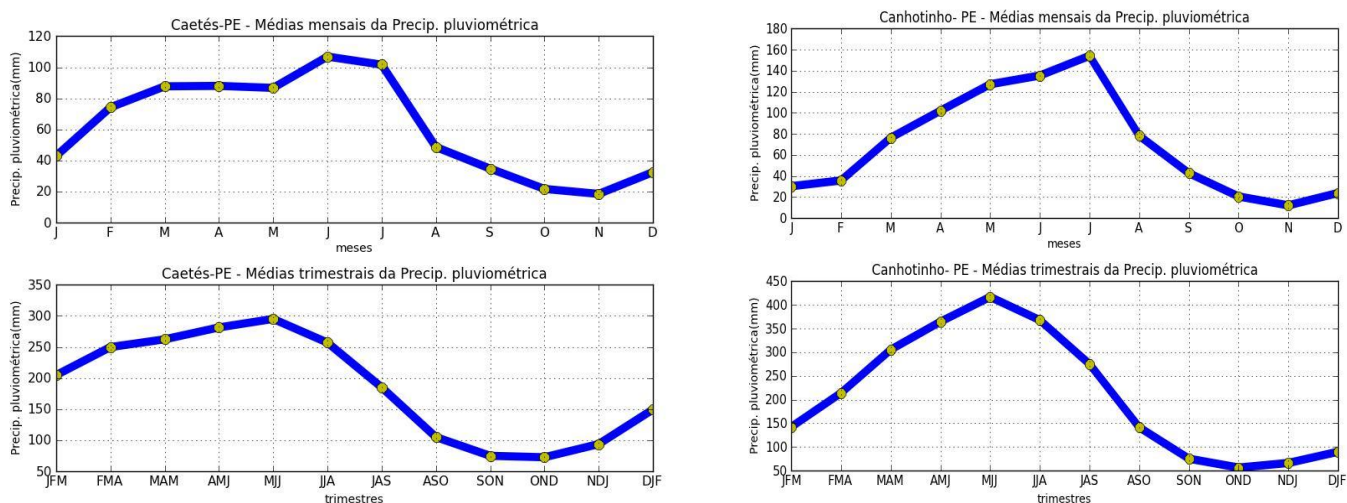
Para análise climatológica foram utilizados séries pluviométricas de 1963 a 2017 para os municípios de Caetés, Canhotinho, Correntes, Jucati, Murici, Garanhuns e Brejão, do qual

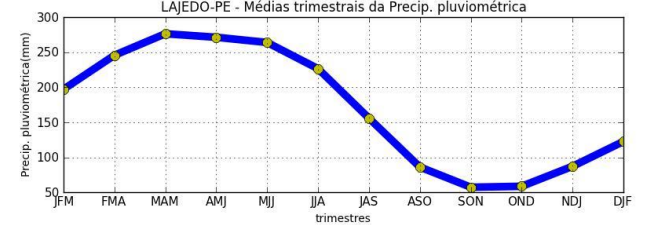
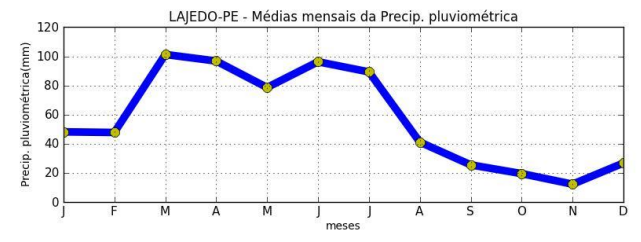
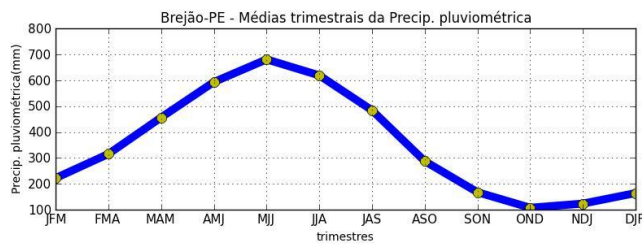
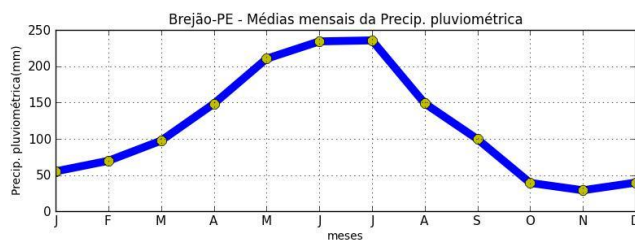
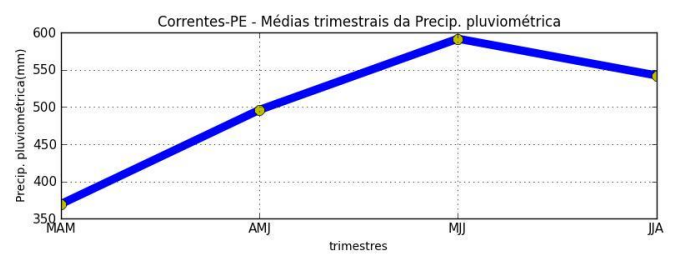
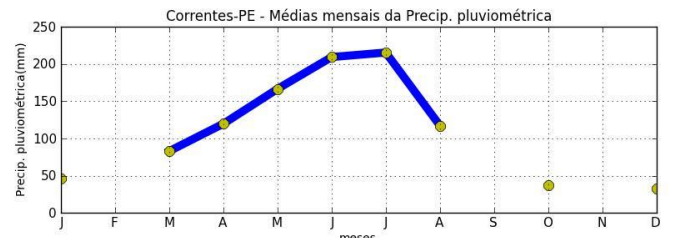
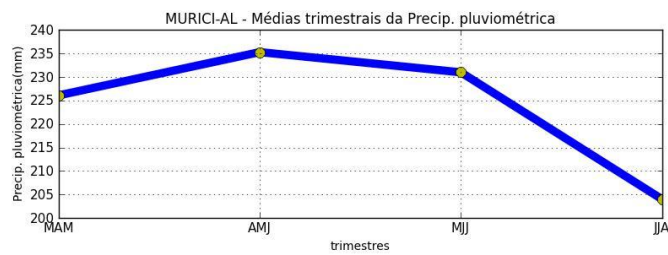
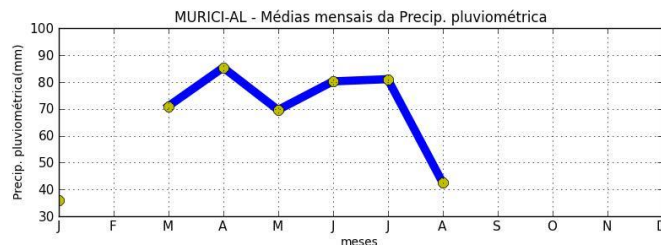
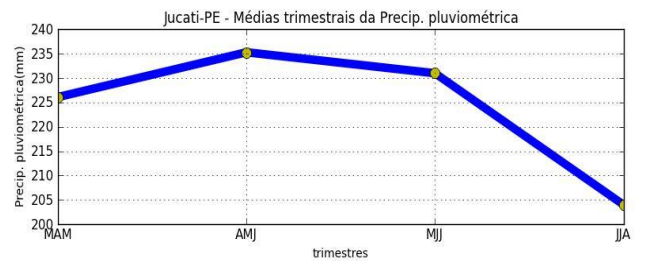
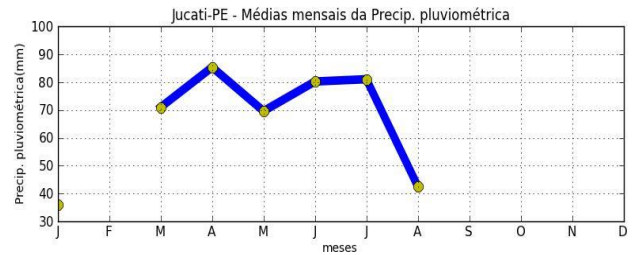
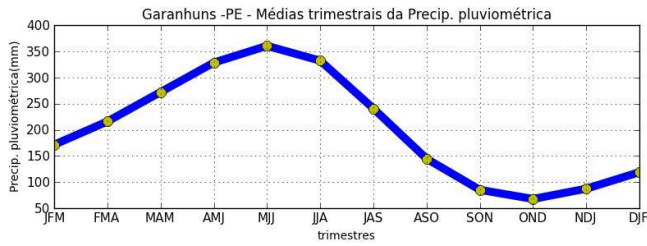
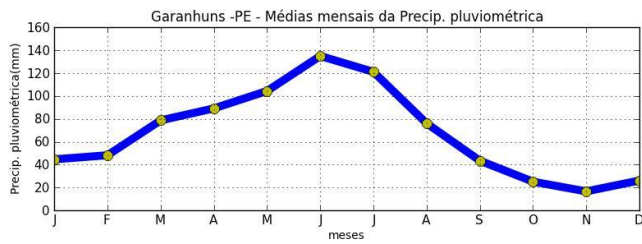
foi gerado gráficos mensais e trimestrais da precipitação pluviométrica, como pode observar na Figura 5.

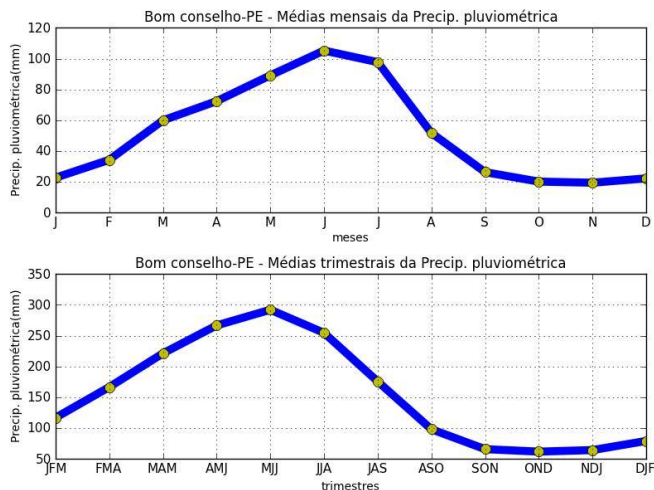
Observa-se que o comportamento da série histórica da precipitação nos municípios demonstra que o período considerado chuvoso ocorre no primeiro semestre enquanto que o período seco caracteriza-se no segundo semestre. Estes meses que ocorrem a máxima precipitação estão relacionados à atuação da Zona de Convergência Intertropical sobre o oceano Atlântico tropical, em sua posição mais ao sul, revelando que este mecanismo climático é o principal responsável pelas chuvas na região semiárida (FERREIRA et al. 2005).

Esta uniformidade semestral entre todos os municípios citados se diferencia ao observar o comportamento hidrológico trimestralmente, ou seja, os municípios mesmo localizados em uma mesma bacia hidrográfica e apresentando um mesmo semestre chuvoso, os meses que representam as maiores lâminas precipitada se diferenciam. Estas diferenças são respondidas por Buytaert et al. (2006), pois, em ambientes montanhosos ou de declive a precipitação pluvial varia no tempo e no espaço e sua correlação entre a precipitação pluvial e a localização geográfica depende dos aspectos topográficos.

Figura 5 - Médias históricas mensais e trimestrais da precipitação pluviométrica para os municípios de Caetés, Canhotinho, Garanhuns, Jucati, Murici, Correntes, Brejão, Lajedo, Bom Conselho.







Fonte: Elaborado por Mariana Caroline Gomes de Lima (2018)

Verifica-se ainda na Figura 5, a variabilidade climática ocorrente na bacia hidrográfica do rio Mundaú em que municípios próximos como Garanhuns e Lajedo, distantes apenas 37 km apresentam o trimestre chuvoso completamente distinto entre si, do qual, Garanhuns é caracterizado pelo trimestre chuvoso maio, junho e julho e Lajedo março abril e maio.

Há similaridade no período chuvoso entre os municípios de Jucati e Murici em que o trimestre chuvoso é marcante nos meses de abril, maio e junho e entre Caetés, Canhotinho, Correntes, Garanhuns, Brejão e Bom Conselho que apresenta sua maior lâmina precipitada entre os meses de maio, junho e julho e entre o período seco que apresenta sua menor lâmina observada entre os municípios de outubro, novembro e dezembro, quando a ZCIT alcança sua posição climatológica mais ao norte do equador, causando assim a diminuição da precipitação da região.

Estas precipitações concentradas em um curto período de tempo e em altas intensidades, caracterizam a má distribuição espacial que ocorre no Nordeste do Brasil, especificamente na região Agreste do estado, do qual é influenciada pela variabilidade interanual da circulação geral da atmosfera e está relacionada à inúmeros eventos atmosféricos que atuam sobre a região. Segundo Kane (2006), os El Ninõs intensificam as secas nordestinas, diminuindo drasticamente os totais pluviométricos, enquanto que durante os anos de La Niña se observa anomalia positiva de precipitação.

As chuvas intensas são responsáveis por grandes eventos principalmente na região Agreste do estado de Pernambuco que apresenta solos com baixa capacidade de escoamento acarretando diversos outros problemas ambientais, como escoamento superficial e consigo a levada de nutrientes importantes do solo, erosão, perda do solo, redução da produtividade agrícola, poluição dos recursos hídricos, pontos de alagamentos e problemas de saúde através de doenças de veiculação hídrica.

5.1.3 Precipitação total e desvio padronizado

Observa-se a precipitação total anual para o período de estudo correspondente a 1963 a 2017 (Figura 6), do qual é gerado em conjunto com o desvio padronizado (DPP). Na parte inferior dos gráficos, verifica-se o quanto o DPP e precipitação total anual se afastou da média, representada pelo valor zero. É possível observar também na parte superior da figura de DPP os valores do coeficiente angular (declive), da correlação linear (r) de acordo com o tempo e o teste de significância estatística da correlação (p -valor). A regressão linear é um excelente indicativo, evidenciando algum tipo de tendência na série histórica.

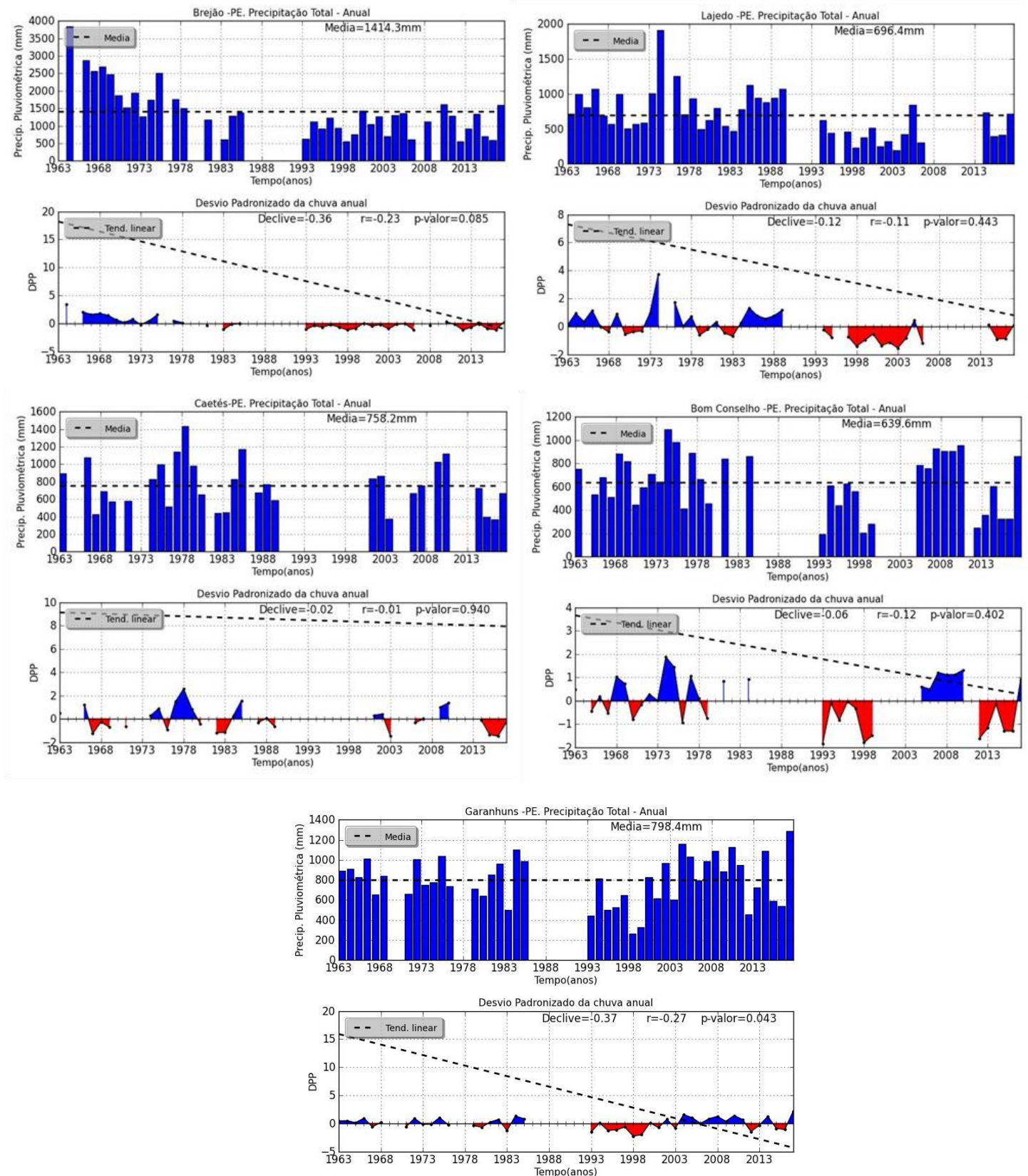
Para os municípios em análise, devido à qualidade dos dados obtidos, apenas os municípios de Brejão, Lajedo, Garanhuns, Caetés e Bom Conselho apresentaram índices estatísticos significativos e relevantes de precipitação total anual e desvio padronizado. Estas análises estatísticas permite uma melhor visualização e conhecimento do comportamento e a variabilidade das chuvas.

Observa-se ainda na Figura 6, que as séries confirmam a diversificada variabilidade anual na lâmina precipitada total, evidenciando uma oscilação entre os anos, ocorrendo anos extremamente secos seguidos de anos extremamente chuvosos, sem ocorrer um padrão, destacando essa variável abrupta. Esta variabilidade anual também foi encontrada por Nóbrega et al. (2015) ao evidenciar possíveis mudanças temporais e espaciais da dinâmica da precipitação em Pernambuco em que diagnosticou que o sertão Pernambucano, foi a que apresentou os mais números de episódios extremamente secos e a ocorrência de eventos extremamente chuvosos. Esta variabilidade que gera indisponibilidade da água e consequentemente seu armazenamento, gera segundo Silva et al. (2009), a dependência da população à variabilidade climática da região, além das plantas sofrerem fisiologicamente e consequentemente os danos sócio-econômicos aumentam consideravelmente.

Atenta-se as secas marcantes nos anos de 1992, 1998, 2002, 2010, 2012 e 2015, em que a situação se mostrou um agravamento pelo déficit hídrico que atingiu a região Nordeste e consequentemente a bacia do rio Mundaú nos últimos três anos. Estes acontecimentos são explicados por Marengo et al. (2016) e Andreoli et al. (2012) pelo fato de que ocorre uma elevada variabilidade interanual. Nota-se que as alterações hidroclimáticas verificadas no Nordeste brasileiro decorrem mais de eventos ENOS, da posição anormal da ZCIT e anomalias térmicas da superfície marinha atreladas às modificações de causas antrópicas enquanto outros eventos atmosféricos que levam à seca ocorrem devido à posição anormal

mais ao norte da Zona de Convergência Intertropical sobre o setor Atlântico, devido ao aquecimento do Oceano Atlântico Tropical Norte.

Figura 6- Precipitação total para os municípios de Brejão, Lajedo, Caetés, Bom Conselho e Garanhuns para o período de 1963 a 2017 e seus respectivos desvios padronizados.



Fonte: Elaborado por Mariana Caroline Gomes de Lima (2018).

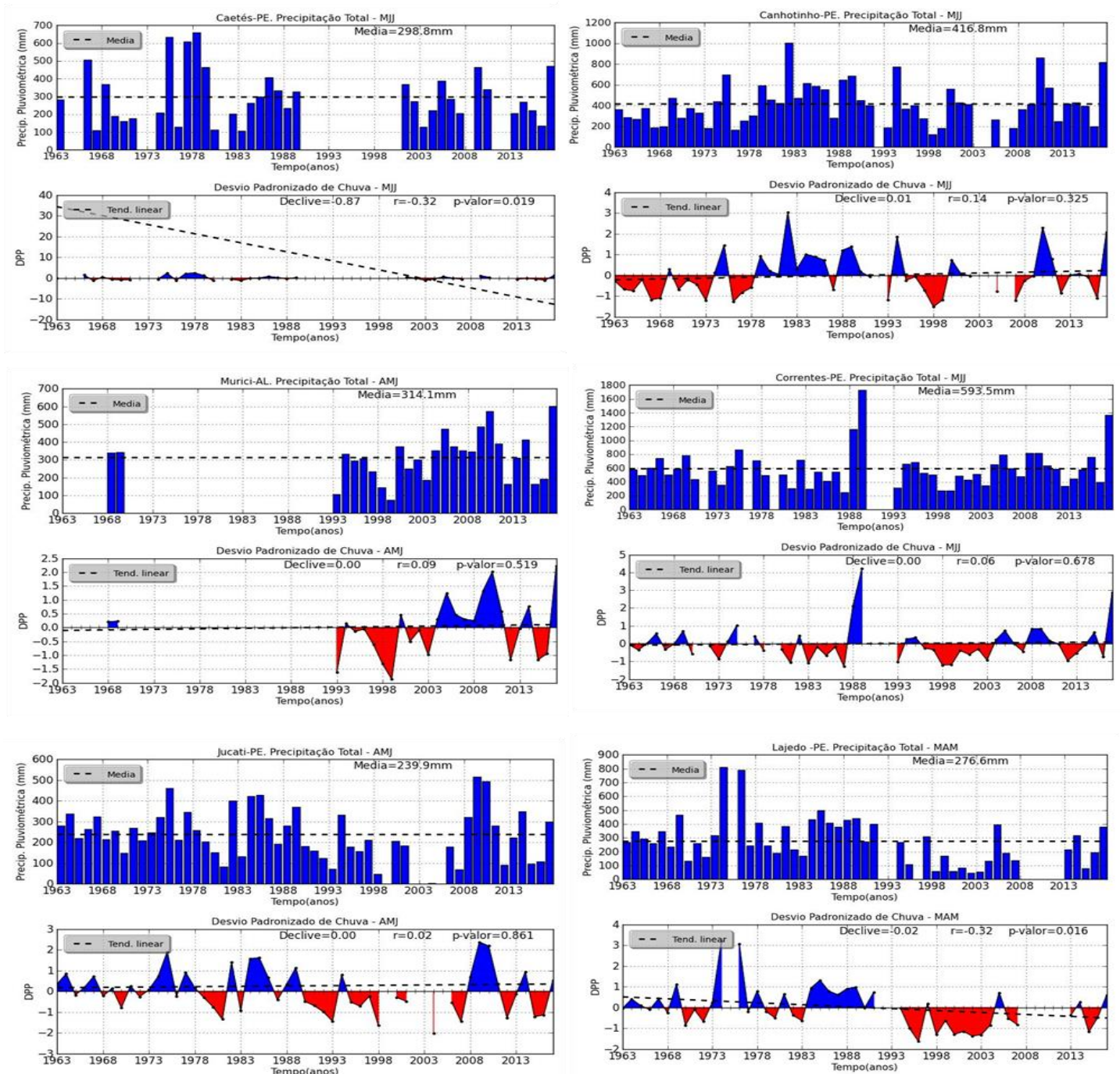
Observando as figuras acima, verifica-se que o coeficiente angular que determina a diminuição anual da precipitação e tem sinal negativo é estatisticamente significativo ao nível de 1%, proporcionando uma estimativa que variou de - 0.02 mm para Caetés a - 0.37 mm para Garanhuns, ou seja, este índice destaca que estes municípios apresentam -0.02 (Caetés), - 0.06 (Bom Conselho), -0.12 (Lajedo), 0.36 (Brejão) e 0.37 (Garanhuns) redução absoluta anual do índice que se pode esperar com base na experiência encontrada no período de 1973 – 2017. Assim como o coeficiente angular dos desvios padronizados, a correlação (r) mostrou-se bastante variável em que a mudança da variável precipitação muda ao sentido proporcional da variável tempo (anos), porém, de forma geral, a correlação mostrou-se positiva, mas, evidenciando uma correlação fraca que pode ser explicada pela falta de dados em alguns anos. Analisando a discrepância da hipótese estatística em relação aos dados observados, observa-se que o teste de significância (p -valor) apresentou uma baixa probabilidade de que a correlação linear foi estatisticamente significativa para Caetés (94%), enquanto que Garanhuns e Brejão apresentaram tendência estatística significativa.

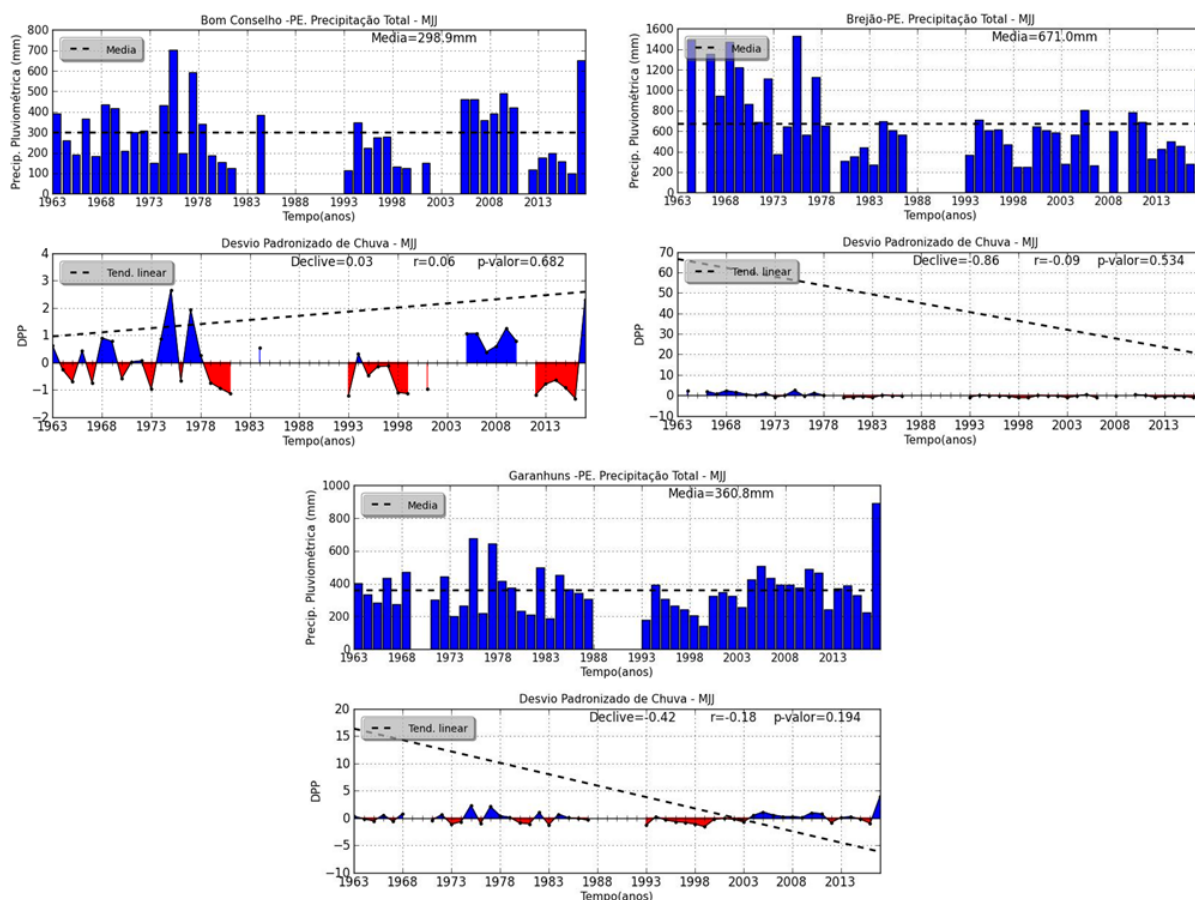
Assim como as médias anuais verificada na Figura 6, os desvios padrão apresentam alterações da precipitação importante em torno da média anual, da qual observa-se a dinâmica do desvio padronizado sem ocorrer um distanciamento da média positivamente ou negativamente. Observa-se os desvios padronizados ocorridos negativamente ocorridos em Lajedo, Bom Conselho e Garanhuns nos anos de 1998 e 2015 e Brejão, Lajedo e Caetés para o ano de 2003. Entre os valores positivos de desvio padrão, destaca-se Lajedo em 1973, Caetés em 1978, e Bom Conselho em 1974, 2007 e 2009. Os demais municípios não apresentaram tendências de DPP significativos, contudo, é na escala mensal que é possível detectar e analisar melhor o processo, não analisando somente a tendência interanual, mas também a tendência intra-anual da precipitação (SILVA et al., 2018).

Considerando-se o trimestre mais chuvoso do ano (Figura 4b e 7), as localidades com maiores volumes trimestrais de chuvas foram Brejão (671 mm), Correntes (593.5 mm), Canhotinho (416.8 mm), Garanhuns (360.8 mm), Murici (314.1 mm), Bom Conselho (298.9 mm), Caetés (298.8 mm), Lajedo (276.6 mm), e Jucati (239.9 mm). Ao analisar o coeficiente angular descrito nas figuras, observa-se que a variação de diminuição trimestral não variou nos municípios de Canhotinho, Murici, Correntes, Jucati, e Bom conselho, evidenciando que não houve uma redução absoluta no trimestre chuvoso durante série de estudo, enquanto que

os municípios de Caetés, Brejão e Garanhuns, apresentaram respectivamente -0.87mm, -0.86 mm e -0.42 mm, respectivamente de redução e a uma correlação fraca.

Figura 7- Precipitação do trimestre chuvoso para os municípios de Caetés, Canhotinho, Murici, Correntes, Jucati, Lajedo, Bom Conselho, Brejão e Garanhuns para o período de 1963 a 2017 e seus respectivos desvios padronizados.





Fonte: Elaborado por Mariana Caroline Gomes de Lima (2018).

Fundamentando-se os meses mais chuvosos seguidos de meses com diminuição drástica de precipitação, destaca-se o período de 1966 para 1967 em Caetés em que ocorre uma diminuição da precipitação em 400 mm, o ano de 1975 a 1976 que ocorre a diminuição de 500 mm e 1979 1980 que ocorre uma diminuição drástica do volume precipitado de 400 mm. Para Canhotinho o ano de 1983 a 1984 configura-se um ano marcante pela drástica diminuição de 600 mm em que estava ocorrendo um significativo evento El Niño, o ano de 1988 e 1989 com aumento de 400 mm em Correntes, 2009 e 2010 em Jucati que apresentam a mesma lâmina precipitada, Lajedo que apresentou o mesmo volume de chuva em 1974 e 1976 com 800 mm, Bom Conselho variando nos anos de 1975 a 1976 500 mm. Observa-se ainda que a primeira década de estudo para Brejão apresentou uma uniformidade, com chuvas de altas intensidades enquanto que para Garanhuns as chuvas de altas intensidades ocorreram nos anos de 1976 e 1978 e 2017.

De acordo com estudo elaborado por Nóbrega et al. (2016), ao analisar a variabilidade climática entre municípios localizados em Pernambuco, esta pequena temporada de chuvas, restrita ao um período de dois a três meses já vem sofrendo alterações e com a presença de

aumento das TSM's sobre os oceanos Pacífico Leste e Atlântico, ainda sofrerão mais alterações. Estas alterações configuram impactos capazes de causar diversos prejuízos, tanto em área urbana quanto em áreas agrícolas, destacando a necessidade da quantificação temporal e espacial principalmente no que se refere a projetos para controle em áreas agrícolas e armazenamento e fornecimento de água para irrigação e abastecimento.

Ao observar o DPP do trimestre chuvoso, constata-se que os valores positivos e negativos se encontram em maior dimensionamento. Quanto os valores negativos, observa-se que os anos de 1973 foi um ano de baixa DPP para Canhotinho, Bom Conselho e Correntes. Os municípios de Canhotinho, Jucati, Murici, Correntes e Bom conselho apresentaram no ano de 1998 baixa no DPP e isoladamente o município de Canhotinho apresentou desvio abaixo em 2007, Jucati em 1980, 1993, 1998, e 2007, Murici 1993, 2003 e 2015, Correntes em 1983, 1987 e 2003 e Bom Conselho em 1980 e 1993. Vale salientar que todos os municípios apresentaram um DPP baixo no ano de 2012 e 2015 para o trimestre chuvoso.

Estes anos em estudo elaborado por Marengo et al. (2013) evidenciam que no Nordeste brasileiro a circulação atmosférica sofre mudanças constantemente na precipitação com a atuação de águas superficiais mais frias que o normal no Pacífico equatorial, com movimento ascendente acima do esperado e precipitação no leste da região Amazônica com resposta de convecção atmosférica, apresentando maior divergência na circulação sobre a Amazônia e uma maior convergência na região Nordeste do Brasil, então, a zona de alta pressão interagiu com a subsidência induzida pelo forte movimento ascendente da Amazônia, determinando condições de menos chuva na região Nordeste.

Já os valores positivos do DPP no trimestre chuvoso, os municípios de Canhotinho, Correntes, Lajedo e Bom Conselho compartilham o ano de 1974 enquanto que o ano de 1989 é de extrema importância para Correntes enquanto que os anos de 1982 e 2011 apresentou elevado pico e o ano de 1973 para Lajedo e Bom Conselho. Evidenciou-se que os maiores DPP foram encontrados para o trimestre chuvoso, assim como encontrado por Chierice (2013), que salienta que os valores mais elevados de desvio-padrão ocorrem nas áreas mais chuvosas para o seu estudo elaborado na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu localizada no estado de São Paulo.

A influência da variável precipitação, além de estar associada a riscos ambientais como visto, pode ainda ser atrelada a ocorrência de doenças de veiculação hídrica, conforme verificado por Confalonieri (2003), em que alguns tipos de eventos meteorológicos extremos podem causar, de forma direta, epidemias de doenças infecciosas, como verificado para as chuvas de verão como leptospirose, por exemplo, doença de veiculação hídrica disseminada

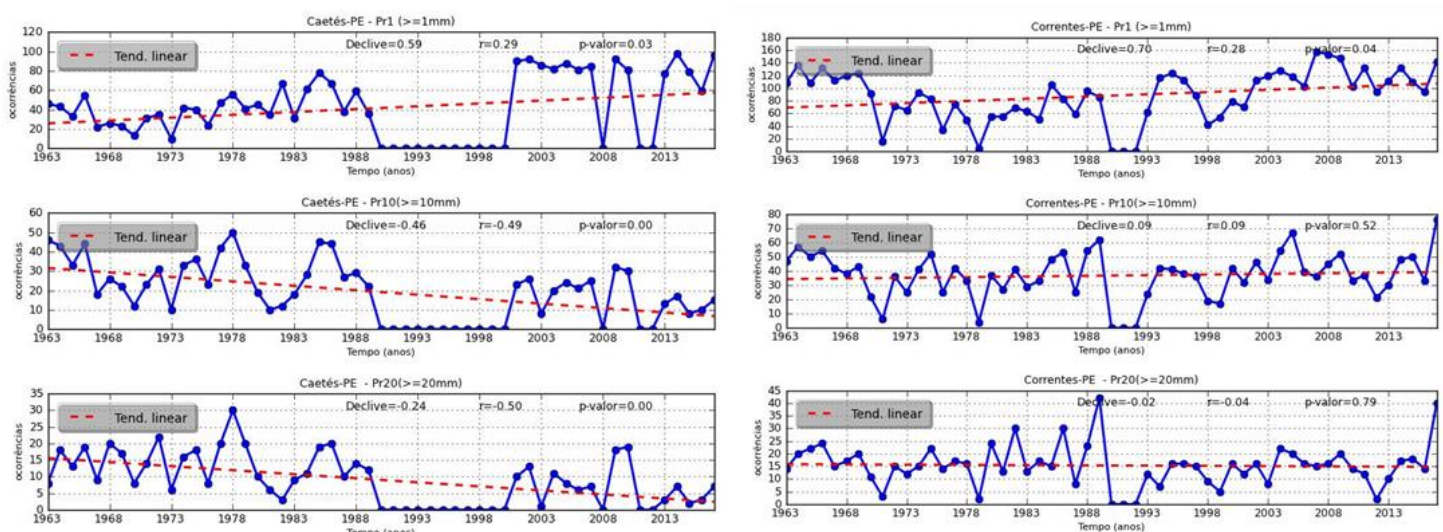
pela água das inundações, em regiões onde a coleta de lixo é precária e os animais de esgoto são abundantes.

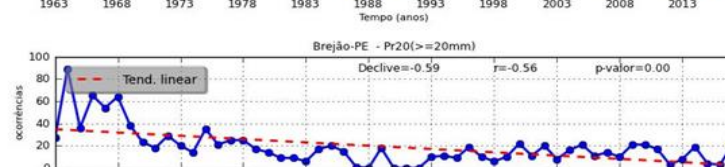
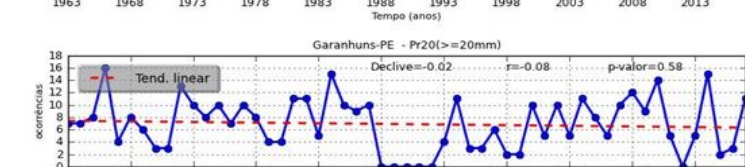
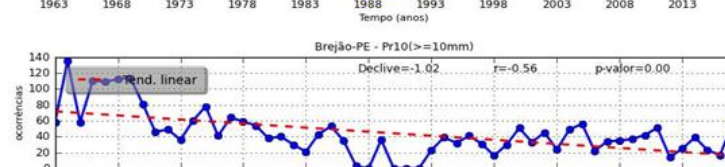
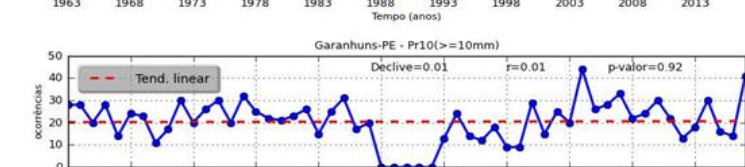
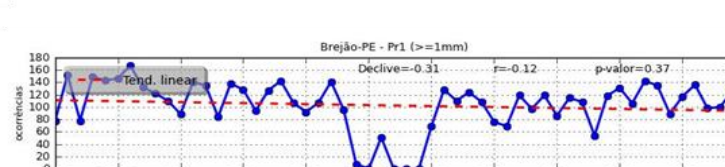
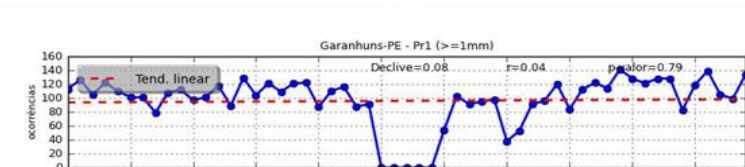
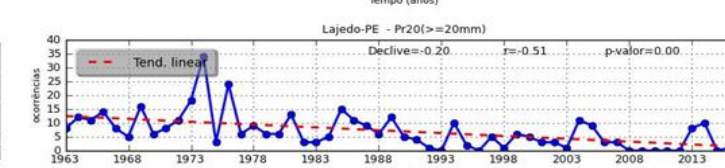
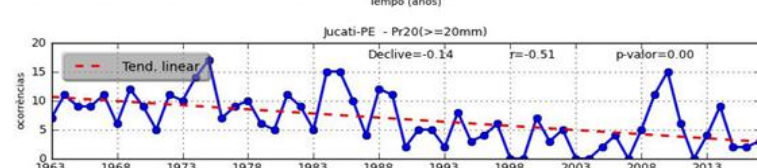
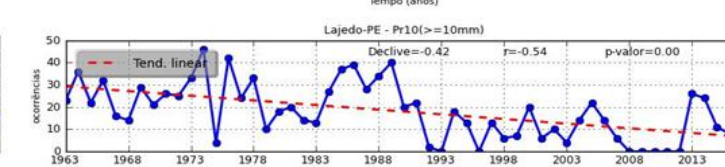
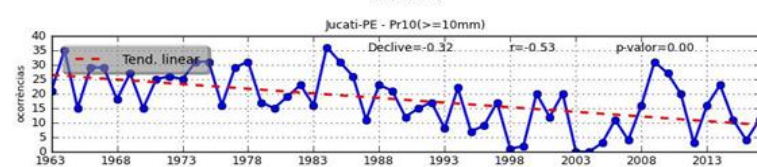
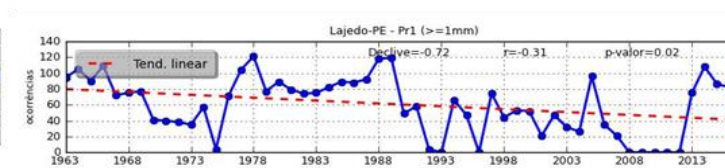
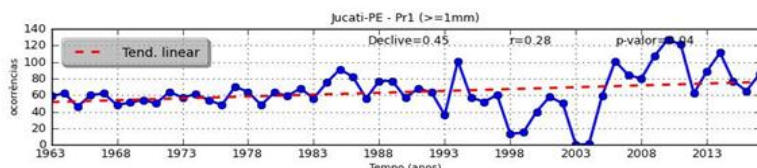
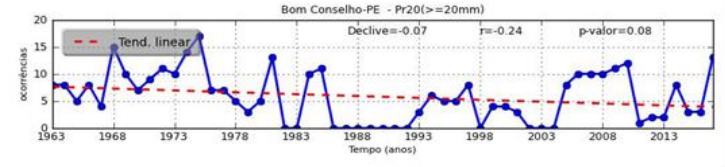
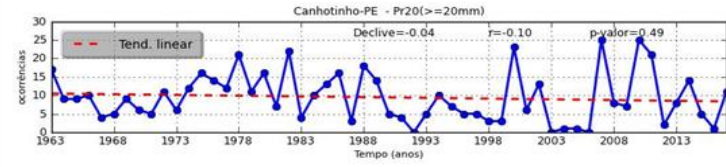
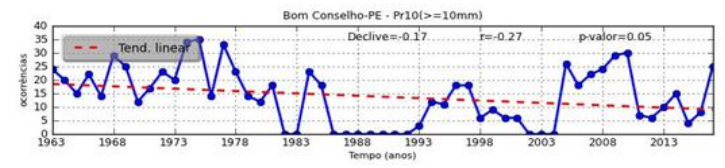
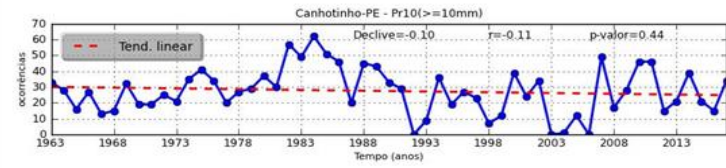
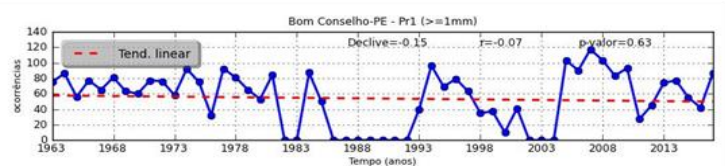
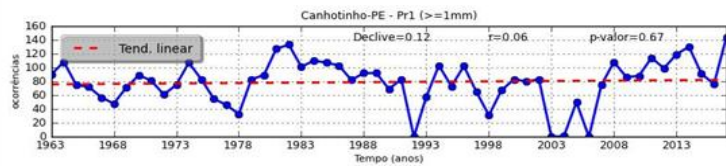
A percepção do comportamento de série histórica de precipitação anual e trimestral verificado nas figuras 6 e 7 constitui uma das principais etapas na redução de risco climático associado a cidades que dependem das águas das chuvas para diversos fins e não apresentam organização urbana, visto que, a variabilidade temporal traz consigo informações importantes quanto sua periodicidade, tendência ou descontinuidades climáticas, resultando em suporte em estudos ao desenvolvimento e capacidade da região em adaptar-se diante das mudanças meteorológicas.

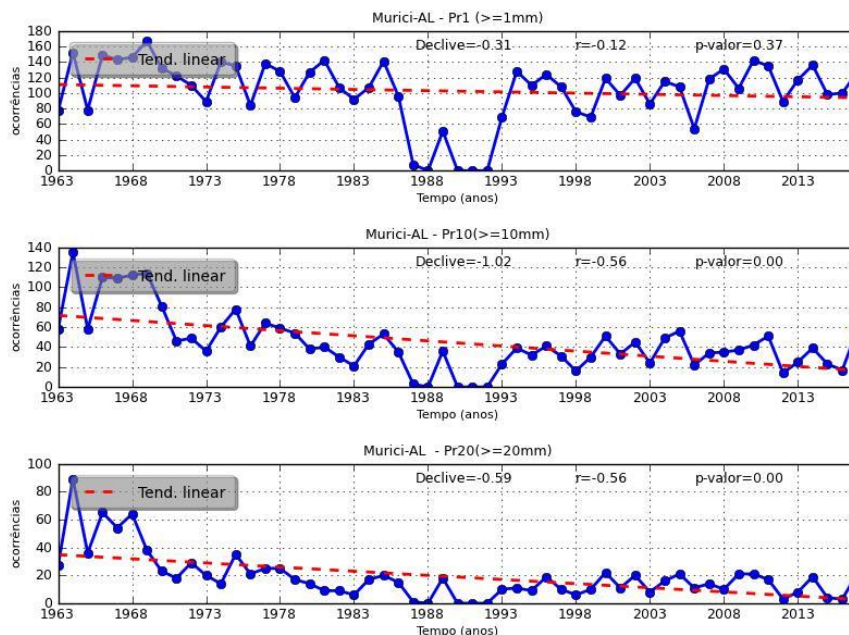
5.1.4 Análise dos índices de extremos de precipitação

Foram indicados os valores representativos do número de dias por ano com chuvas significativas a nível de ≥ 1 mm, ≥ 10 mm, ≥ 20 mm, ≥ 50 mm, dia das chuvas expressivas (figura 8), e suas respectivas tendências de aumento ou diminuição de sua ocorrência ao longo do período de 1963 a 2017. Os gráficos foram obtidos através do Climap 3.0 e demonstraram que a maioria dos municípios que compõe a área de estudo apresentaram uma tendência de aumento no índice Pr1, exceto os municípios de Lajedo, Bom Conselho e Garanhuns que apresentaram uma tendência de diminuição nos três índices.

Figura 8- Dias com chuva $\Rightarrow 1$ mm, dias com chuva $\Rightarrow 10$ mm e dias com chuva $\Rightarrow 20$ mm diários para o período de 1963 a 2017.







Fonte: Elaborado por Mariana Caroline Gomes de Lima (2018).

Em estudo realizado por Silva et al. (2018) para região semiárida pernambucana, análises estatísticas que indicam a variabilidade da intensidade e frequência da ocorrência de chuvas são importantes indicadores de modificação nos padrões climáticos. Com isso, os dias verificados na Figura 8, com chuva ≥ 1 mm apresentou uma tendência linear positiva, evidenciando um rápido aumento das precipitações durante os anos na série histórica em estudo. Entretanto, o p-valor foi considerado estatisticamente insignificativo apenas nos municípios de Canhotinho, Bom Conselho e Garanhuns.

Os dias com chuvas iguais ou superiores a 10 mm ($\geq 10\text{mm}$), tiveram uma tendência de diminuição nos municípios de Caetés, Bom Conselho, Jucati, Lajedo, Brejão e Murici, apresentando um nível de p-valor de 0.00, 0.05, 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, respectivamente sendo considerado significativo. Para as chuvas iguais ou superiores a 20 mm ($\geq 20\text{mm}$), também ocorreu para a maioria dos municípios a tendência de diminuição da frequência, com uma declividade chegando a -0.59 mm em Murici. Os municípios que não apresentaram nenhuma tendência de aumento e diminuição foram os municípios de Canhotinho, Correntes e Garanhuns. Já os municípios que apresentaram tendência na diminuição foram Caetés, Bom Conselho, Jucati, Lajedo, Brejão e Murici, este último apresentando um p-valor de 0.08 enquanto que os demais municípios apresentaram p-valor de 0.00, porém continuam sendo significativos, com forte significância estatística, evidenciando que as chuvas acima de 10 e 20 mm são mais importantes no que se refere ao aumento da precipitação na bacia hidrográfica do que as chuvas abaixo desse corte.

Estes resultados demonstram que é possível perceber que ocorre uma uniformidade nas tendências, do qual, a proporção de municípios com significância estatística de forma

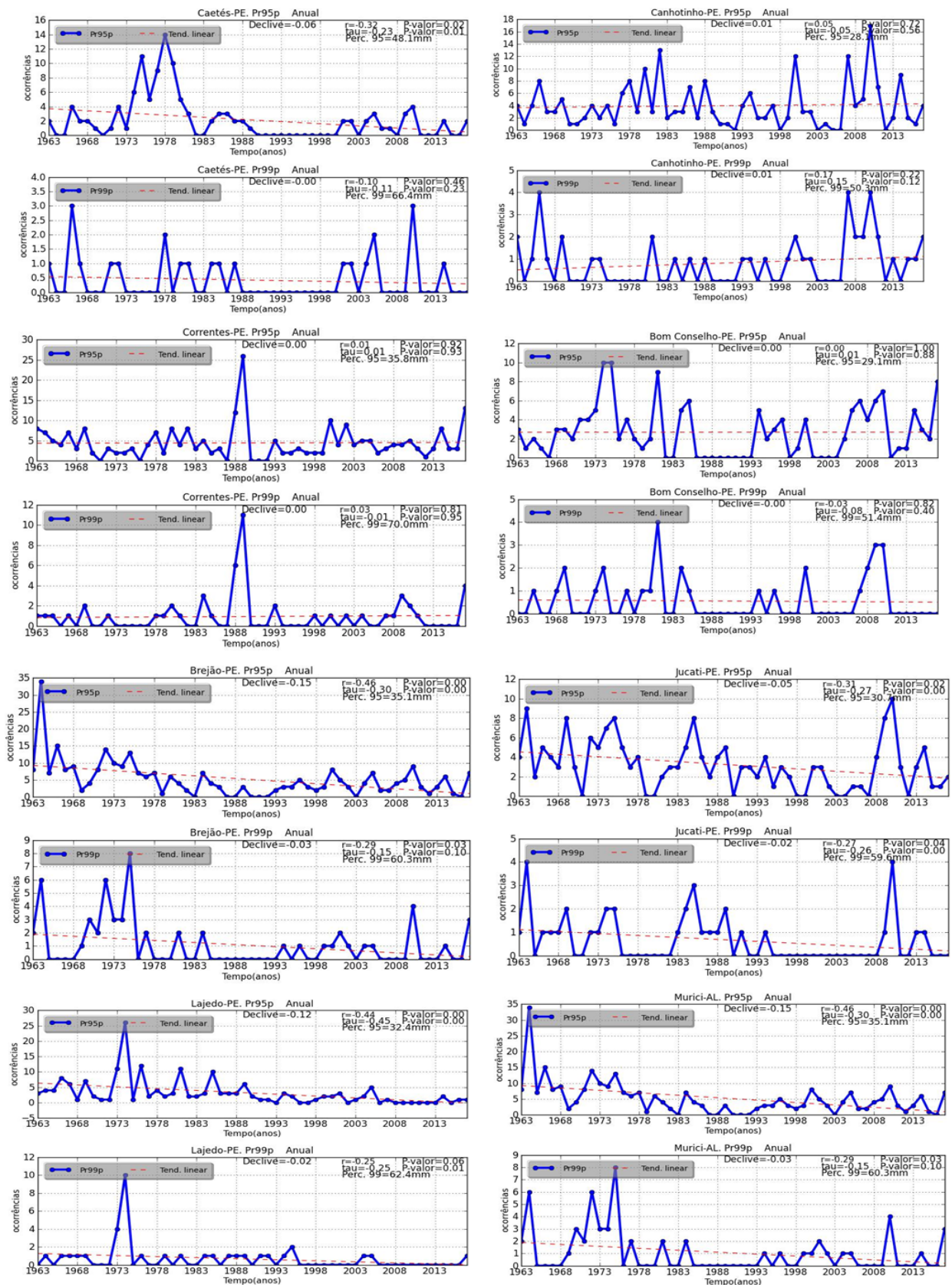
geral indica que a ocorrência dos índices extremos possui expressividade para o presente estudo. A baixa ocorrência de eventos extremos na bacia do rio Mundaú e suas respectivas tendências de diminuição representa uma resposta positiva para a região, visto o alto grau de vulnerabilidade da qual a bacia do rio Mundaú se encontra, entretanto, os riscos ambientais, sociais e econômicos, ocasionados pela variabilidade climática não pode ser incluída nessa consideração, representando ainda um elevado grau de risco devido a falta de investimento econômico.

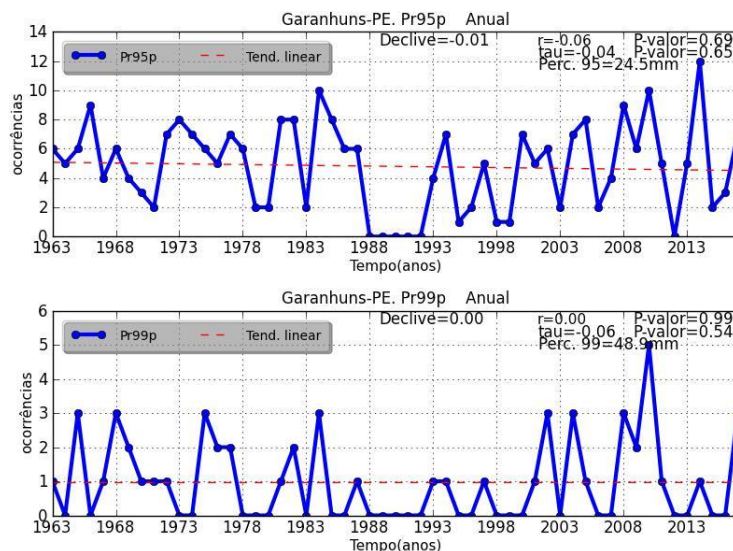
Entretanto, de acordo com Faceto e Paiva (2012), os índices pluviométricos críticos para deflagração de deslizamento de terras e outros problemas ambientais ligados ao solo, variam com o regime de infiltração no solo, com a dinâmica das águas subterrâneas e com o tipo de processo geodinâmico e a saturação progressiva dos solos pode acontecer através da precipitação de menor intensidade, mas, através da sua continuidade que conseguem se infiltrar no solo. Enquanto que para Costa et al. (2018), as interferências humanas aliadas ao volume precipitado são os principais potencializadores para desastres hidrológicos, principalmente o de enxurrada e que áreas de declives superiores a 45% que apresentam solos característicos como ocorre no Agreste e no Sertão são características importantes para o processo de enxurradas e escoamento superficial concentrado.

Em comparação a este trabalho, Santos et al. (2017), ao verificar a dinâmica espaço temporal dos índices de extremos climáticos para o estado do Piauí, observou que os índices anuais extremos indicaram uma diminuição da precipitação total em que os índices que representam $\leq 10\text{mm}$ e $\leq 20\text{ mm}$ apresentaram uma tendência negativa. De forma geral, os autores perceberam que a TSM ao diminuir ocorre um aumento de todos os índices, indicando intensificação dos eventos extremos e do total anual de precipitação sobre o estado do Piauí.

Verifica-se na Figura 9, a análise da precipitação ao longo dos 54 anos de período amostral a 95% considerando 48.1mm da precipitação para Caetés, 28.1 mm para Canhotinho, 35.8 mm para Correntes, 29.1 mm para Bom Conselho, 35.1 mm para Brejão, 30.7 mm em Jucati, 32.4mm para Lajedo, Murici a 35.1 mm e Garanhuns com 24.5 mm e a 99% de confiança considerando 66.4 mm em Caetés, 50.3 mm em Canhotinho, 70 mm para Correntes, 51.4 mm para Bom Conselho, 60.3 mm para Brejão, 59.6 mm em Jucati, Lajedo 62.4 mm, Murici 60.3 mm e Garanhuns a 48.9 mm. Todos os municípios apresentaram correlação linear fraca, exceto Correntes e Bom Conselho apresentaram uma correlação linear desprezível.

Figura 9- Ocorrência de precipitação a 95% e 99% de confiança para a série de estudo correspondente à 1963 a 2017.





Fonte: Elaborado por Mariana Caroline Gomes de Lima (2018).

Ainda na Figura 9, o p-valor foi considerado significativo apenas nos municípios de Canhotinho (apenas à nível de 95%), Bom Conselho, Correntes e Garanhuns enquanto os demais municípios não apresentaram correlação estatística. Fica evidenciado então que a precipitação nos municípios que compõe a bacia do rio Mundaú apresentou uma tendência de modo geral à diminuição, tanto no volume das chuvas quanto nos extremos de precipitação, sendo estatisticamente significativo apenas nos municípios supracitados.

Esta tendência significativa à diminuição também foi verificado por Salvador (2014), ao analisar índices extremos de precipitação para os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia utilizando o mesmo aplicativo utilizado no presente estudo, do qual, foram obtidos como resultado uma tendência negativa dos extremos precipitados, evidenciando uma diminuição gradativa desses eventos climáticos. Enquanto que para Valverde et al., (2018), ao analisar o índice que representa o acumulado anual de dias muito úmidos acima do percentil 95, os municípios de Santo André e Mauá ambos no estado de São Paulo, mostrou tendências positivas de aumento.

Cabe salientar que o estudo desses eventos climáticos extremos é de extrema relevância como observado por Valverde et al. (2018) ao detalhar os extremos climáticos da região do ABC Paulista do qual é possível observar que os escorregamentos ocorrem geralmente quando o total de chuvas em menos de três dias atingem as intensidades de 80 mm

e 100 mm, enquanto que a ocorrência de inundações e alagamentos em Santo André - SP, o limiar de intensidade de chuva é de 50 mm em um período correspondente a uma hora.

5.1.5 Análise da variabilidade decadal da precipitação pluviométrica anual

Verifica-se na Figura 10 a distribuição espacial da precipitação pluviométrica anual para 1960 a 1961 para a bacia hidrográfica do rio Mundaú. Observa-se que a precipitação na região sul da bacia varia de 1200 mm a 1500, enquanto que no oeste da bacia a precipitação varia de 1200 a uma mancha responsável por um acumulado anual de 1500 mm. O nordeste e o norte da bacia apresentam valores inferiores às demais localidades, do qual variam de 1000 mm a 700 mm e uma pequena área no norte da bacia responsável por 600 mm englobando o município de Capoeiras.

Na Figura 10 b e 10 c, fica notável no sul da bacia a diferença do total precipitado nos anos de 1970 a 1970 quando comparado com a figura 10a, em que a precipitação para este ano não ultrapassou os 1200 mm e a região oeste que nos anos anteriores apresentavam precipitações que passavam dos 2000 mm, para a presente figura não ultrapassou 1100 mm assim como o centro da bacia que a distribuição da precipitação de 800 a 1100 mm aumentou bem como a expansão da área vermelha que antes abrangia apenas o município de Capoeiras e para o presente ano, abrangeu Caetés e Jucati.

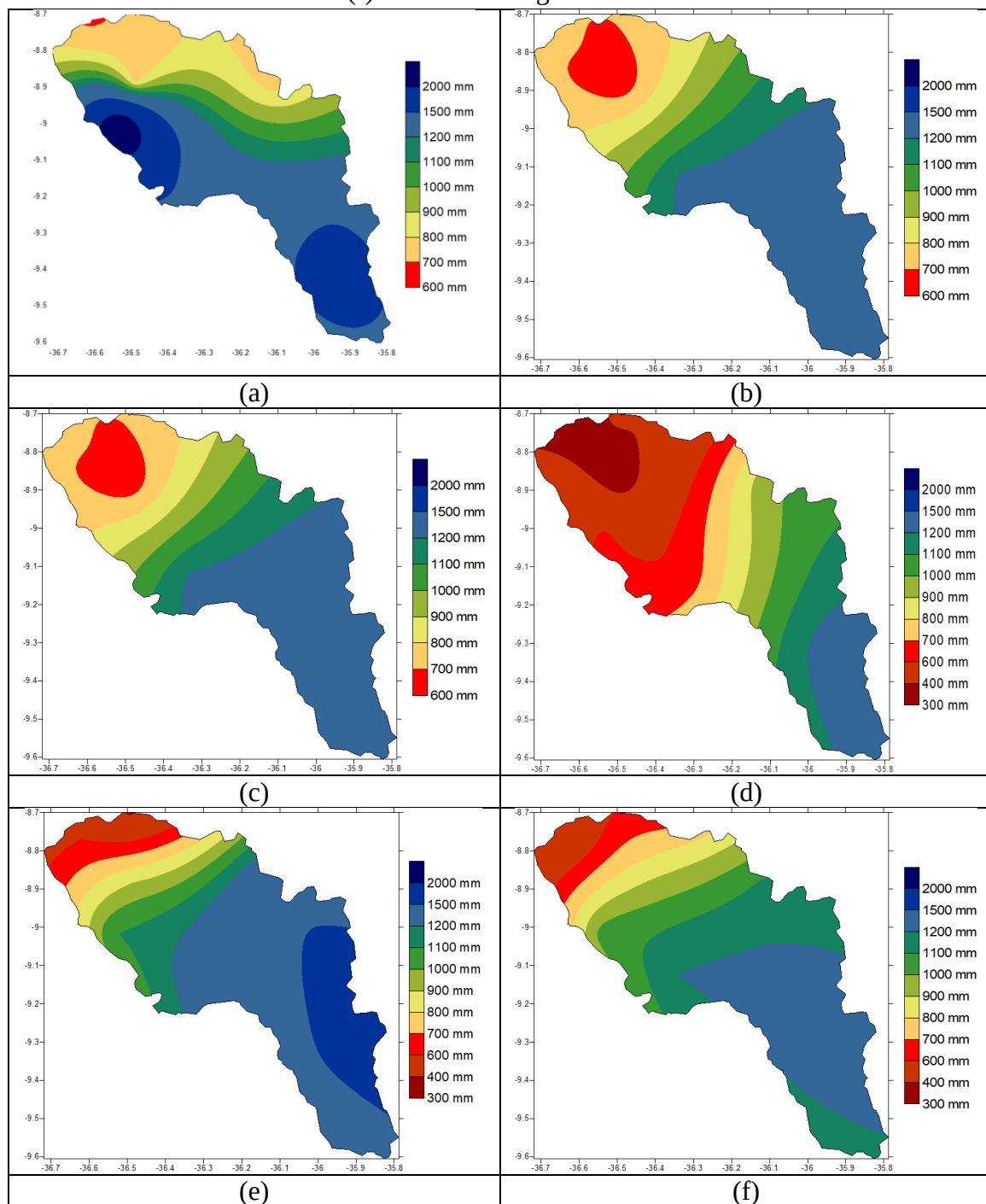
Na Figura 10d, observa-se a diferença abrupta para os anos de 1990 a 1999 em que a região sul era a maior responsável pela área úmida da bacia e durante esses anos esta área ficou limitada aos municípios de Rio Largo, Messias, e Murici enquanto que a região central da bacia houve uma melhor distribuição com limiares mais definidos que variaram de 1100 a 700 mm. Salienta-se ainda a região norte da bacia que em um intervalo de 9 anos foi responsável por índices precipitados baixíssimos de 300 a 700 mm, englobando todos os municípios do estado de Pernambuco à estado de alerta devido ao período de seca.

Na figura 10 e, evidencia uma melhora do total precipitado nos anos de 2000 a 2009 no sul e leste da bacia, em que se observa que a mancha responsável pelo total de 1500 mm reapareceu e diminuição da área seca na região norte da bacia do Rio Mundaú. Este ano foi um ano importante para a região visto que os anos de 2000 a 2009 foram considerados de normal a chuvoso como será observado posteriormente.

Nos anos de 2010 a 2017 na Figura 10 f, a presença da área verde que corresponde a 1200 ficou delimitada aos extremos da região sul, enquanto que a precipitação acima de 1200 mm ficou restrita na zona sul. Observa-se ainda a expansão do volume precipitado na região

central da bacia e o aumento do volume precipitado de 300 mm quando comparado com a figura 10 e. Os anos de 2010 a 2017, classificam a bacia do rio Mundaú como anos difíceis e Secos em que ao se observar anualmente os anos foram considerados como muito seco em 2012, 2013, 2016 e 2015 seco.

Figura 10- Distribuição espacial da precipitação pluviométrica anual decadal nos períodos de 1960 a 1969 (a), 1970 a 1979 (b), 1980 a 1989 (c), 1990 a 1999 (d), 2000 a 2009 (e), 2010 a 2017 (f) na bacia hidrográfica do rio Mundaú.



Fonte: Elaborado por Mariana Caroline Gomes de Lima (2018).

5.1.6 Padrão hidroclimático

A Tabela 3 mostra a classificação da intensidade da precipitação anual com base nas ordens quantílicas obtidas para os municípios de Canhotinho, Caetés, Correntes, Brejão, Bom Conselho, Jucati, Lajedo, Murici e Garanhuns para a série de estudo que compreende os anos de 1963 a 2017, desde um ano considerado como Muito Seco classificado pelo quantil $Q(0.15)$ com precipitação inferior a 571.511 mm, até um ano extremamente chuvoso, quando a precipitação for maior ou igual a 1121.29 mm determinado pelo quantil $Q(0.85)$. O conhecimento dessa informação disponibilizada pela precipitação é fundamental para diversos setores, uma vez que estas informações possibilitam informar que o excesso ou o período de escassez podem provocar mudanças sociais e econômicas nas cidades do Agreste.

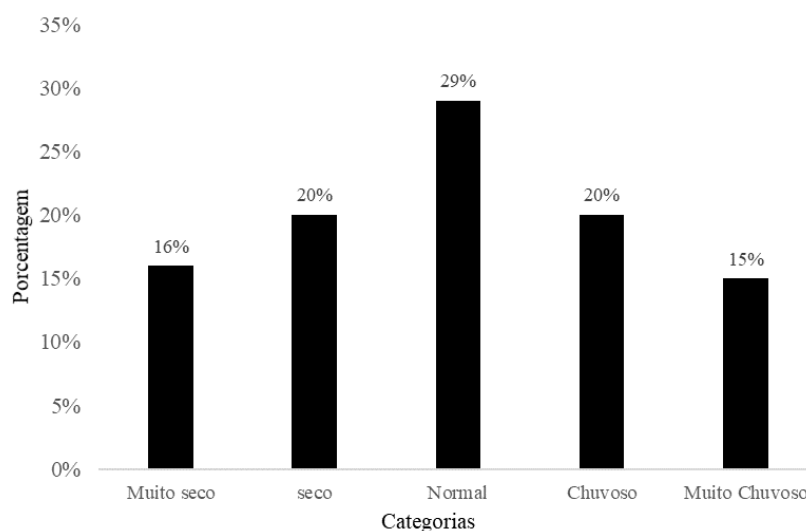
Tabela 3 - Classificação da intensidade da precipitação anual para os municípios da bacia do rio Mundaú relacionada às ordens quantílicas.

Categorias	Ocorrência da Precipitação (mm)
Muito Seco (MS)	$P < 571.511$
Seco (S)	$571.511 \leq P < 760.611$
Normal (N)	$760.611 \leq P < 996.889$
Chuvoso (C)	$996.889 \leq P < 1121.29$
Muito chuvoso (MC)	$P \geq 1121.29$

Fonte: Mariana Caroline Gomes de Lima (2018).

Depois de definir os limiares para classificação da intensidade da precipitação observada no período de estudo, é oportuno apresentar a frequência observada por categoria. Como pode ser observado na Figura 11, 49% dos anos apresentaram precipitação variando de 571.511 a 760.611 mm correspondendo as classes Seco e Normal. As classes chuvoso e muito chuvoso corresponderam a 20 e 15% dos anos, com precipitação acumuladas acima de 996.889 mm. A frequência dos anos Muito Seco, com registro de 16%, afirmando que na região ocorre com maior frequência do período muito seco do que muito chuvoso. Souza et al. (2012) verifico-se que quando ocorre registros de precipitação dentro da classe de chuva Muito Forte, ocorre sempre escorregamentos, ocasionando danos à população, cabendo salientar que as chuvas moderadas também desencadeiam problemas de escorregamento que embora sejam considerados de pequeno porte, causam pontos de alagamentos.

Figura 11- Frequência observada por categoria (Muito Seco, Seco, Normal, Chuvoso e Muito Chuvoso).



Fonte: Elaborado por Mariana Caroline Gomes de Lima (2018).

A distribuição da ocorrência da precipitação média anual desde um ano muito seco até extremamente chuvoso está demonstrado através da Tabela 4, a qual revela que os anos considerado dentro da normalidade representam a maior frequência com ocorrência de 16 anos, sendo o ano de 1990 o mais seco com precipitação média na bacia hidrográfica de 273.16 mm, seco o ano de 2003 com 606.56 mm, o ano mais chuvosos o ano de 1975 com 1121.29 mm e o mais chuvoso 1964 com 1331.44 mm.

Tabela 4 – Distribuição ao longo dos anos de acordo com a classificação quantílica

Muito seco		Seco		Normal		Chuvoso		Muito chuvoso	
Ano	Precipitação	Ano	Precipitação	Ano	Precipitação	Ano	Precipitação	Ano	Precipitação
1990	273.16	2003	606.56	1997	768.47	1968	1011.51	1986	1123.91
1998	409.12	1983	639.58	2001	777.98	2005	1012.58	1985	1142.90
1992	466.56	1987	650.10	1996	791.37	2000	1013.00	1969	1145.57
1999	472.66	2015	651.61	2013	824.37	2002	1027.27	1989	1148.98
1991	494.93	1995	691.36	1978	860.38	1984	1028.39	2010	1183.34
2012	500.86	1971	707.16	2011	861.12	1963	1043.98	1974	1198.80
1993	501.16	1973	707.73	2007	867.70	2014	1059.30	1966	1303.58
1979	529.97	1976	715.33	1981	870.61	2009	1078.67	1964	1331.44
2016	571.51	2006	733.39	1994	876.91	2017	1086.84		
		1970	753.32	1965	904.18	1977	1095.72		
		1980	760.61	1982	905.12	1975	1121.29		
				1988	912.83				
				2008	979.18				
				2004	991.57				
				1972	995.62				

Ainda na Tabela 5, observa-se que os anos de El Niño forte que correspondeu aos anos de 1983, 1984, 1997 e 1998 de acordo com estudo elaborado por Gouveia et al. (2018) para a bacia do rio Itajaí, verifica-se que os anos de 1983 e 1998 representaram anos considerado seco para o presente estudo, 1984 chuvoso e 1997 considerado dentro da normalidade. Esta diferença está relacionada ao fato de que para a região Sul do Brasil, pode ser atribuído à influência da Oscilação Decadal do Pacífico e que são semelhantes segundo o autor, aos eventos de El Niño e La Niña.

O ano de 2012 como abordado no presente estudo foi considerado um ano muito seco em que de acordo com estudo elaborado por Lopes et al. (2015), este ano foi representado pelo menor total da precipitação pluviométrica para Petrolina -PE, do qual apresentou quedas de produção no setor agropecuário com perdas totais de safras de sequeiro e morte de inúmeros animais.

A demanda hídrica anual deve ser sempre analisada em bacias hidrográficas que apresentam diferentes uso do espaço urbano e rural. A exemplo, em área agrícola como é a bacia hidrográfica do rio Mundaú, a dinâmica da chuva que varia de muito seco a muito chuvoso apresenta diminuição nas culturas, como observado por Mota et al. (2011) em que a cultura da mandioca necessita de 1000 a 2000 mm de precipitação bem distribuídos durante o ciclo para completar seu ano produtivo em que valores abaixo deste, pode ocorrer perdas na produção como ocorre em anos muito seco. (COELHO, 2012), as bananeiras, necessitam de 2000 a 2500 mm durante o seu ciclo. O conhecimento da climatologia dos eventos extremos vem então a agregar com informações hidrogeográficas, auxiliando em tomada de decisões dos atores públicos e comunitários.

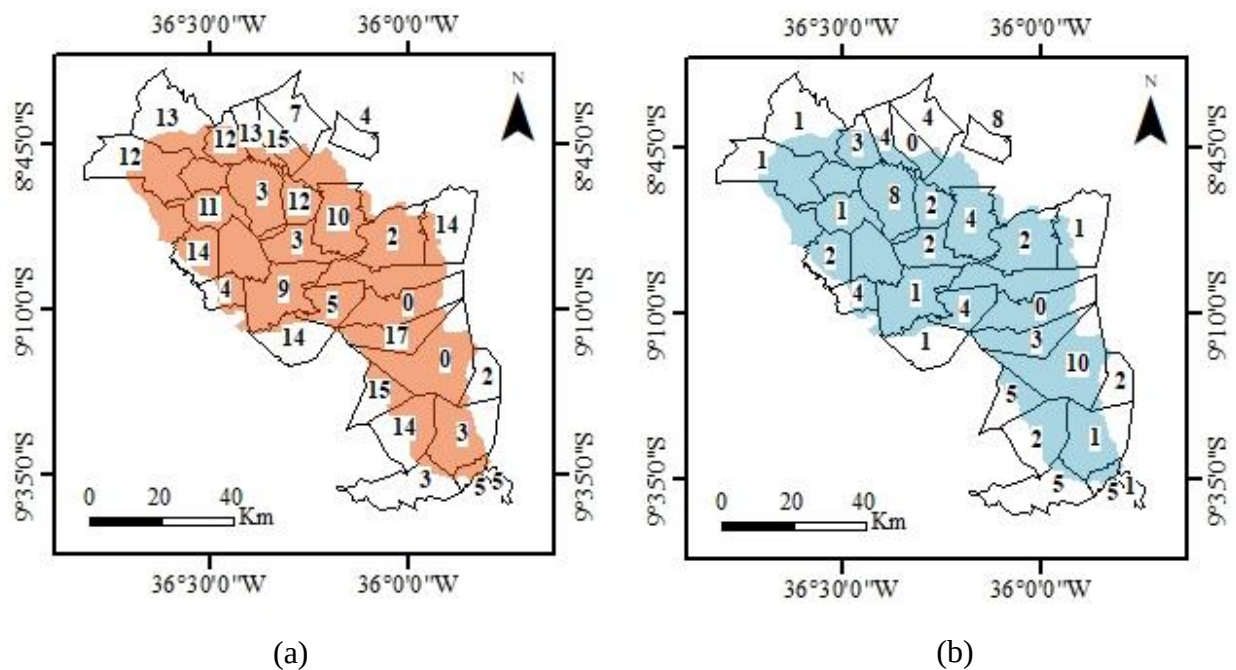
5.2 Impactos ocasionados pelos eventos extremos

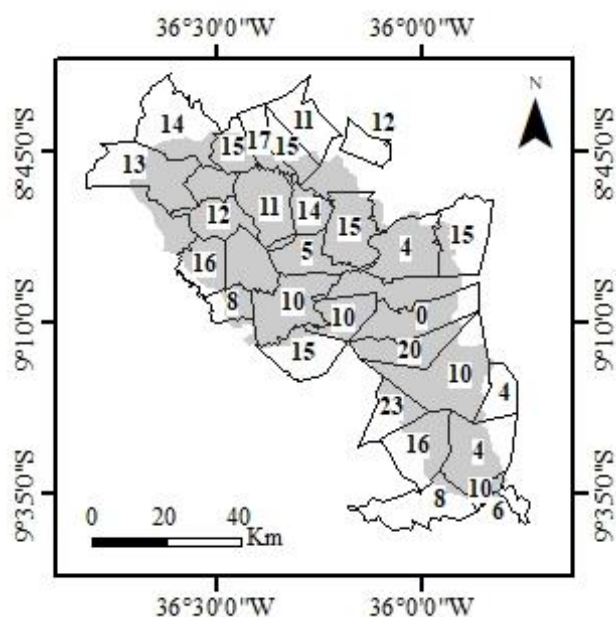
As chuvas, considerada um fenômeno natural, associado a ocorrência de uma ameaça natural e uma população exposta as condições de vulnerabilidade social e ambiental tem provocado danos e prejuízos calculáveis e incalculáveis, cujos impactos excedem a capacidade da sociedade afetada de arcar com os próprios recursos. Com o intuito de ilustrar alguns impactos relacionados à decorrência da falta e presença excessiva das precipitações, foram elaborados alguns gráficos com informações pautadas pelos registros do AVADAN, NOPRED, FIDE, Portarias e Decretos, conforme a seguir.

Neste trabalho, os desastres associados às chuvas referem-se aos eventos registrados decorrentes das chuvas (a), a saber: inundação, enxurrada, alagamento e erosão de margem pluvial; os desastres decorrentes das secas (b) correspondem a contabilização das secas e estiagem; e os desastres totais (c) equivalem a contabilização dos desastres associados às chuvas, secas, doenças infecciosas e processos de erosão. Ao analisar o número de eventos na figura 12, observa-se que os municípios apresentam uma baixa infraestrutura, e que a maioria das áreas residências em virtude das condições econômicas, são localizadas em áreas com baixo valor imobiliário e sujeitas à ricos diversos já que compartilham proximidades a área vulneráveis.

De acordo com a Figura 12, foram registrados 198 casos de estiagem, 62 de enxurradas, 45 de secas, 22 de inundações, 6 de alagamentos e 2 casos de tempestades locais. Verifica-se também que o maior número de eventos é nos municípios localizados no estado de Pernambuco, dentre eles, destacam-se os municípios de Caetés, Garanhuns, São João, Brejão, Capoeiras e Lajedo que apresentaram para o período de estudo um total de 20, 20, 17, 16, 15 e 15 eventos climáticos devastadores.

Figura 12- Número de desastres registrados associados às chuvas (a), secas (b) e desastres total (c) no período de 1963 a 2017 para a bacia do rio Mundaú.





(c)

Fonte: Elaborado por Mariana Caroline Gomes de Lima (2018).

No município de Angelim os riscos levaram à zona rural a elevados riscos agrícolas e pecuária, representada pela queda na produtividade nas produções de milho, feijão mulatinho, e feijão de corda e a produção de carne e leite na região. No ano de 2012 o município sofreu com a baixa significativa no índice pluviométrico do qual resultou em quatro meses de escassez de água, resultando em 90% de perda das pastagens, 50% da produção de leite e na pecuária de corte 20%, representando um prejuízo total de R\$: 50.000 reais. Alunos ficaram sem aulas principalmente moradores da zona rural em que devido às péssimas estruturas das estradas. Fez-se necessário o aumento da capacidade dos reservatórios hídricos, devido a dificuldade no abastecimento de água para o uso doméstico.

Em Caetés medidas de assistência e recuperação econômico e social foram julgadas necessárias, visto que foram notados riscos potenciais a integridade física da população. Em 1998 o fenômeno climático ‘‘El Niño’’ ocasionou miséria e fome para a população da zona rural, em contrapartida, onze anos após, em 2009, os altos índices pluviométricos no mês de junho resultou em perda da safra que foi de 3.022 toneladas, prejuízos na pecuária com cerca de 600 animais afetados e rompimento de barragens. Em 2012 as reservas de água foram afetadas causando sérios riscos à população e o mesmo evento foi observado em Lajedo.

As intensas precipitações ocasionaram alagamentos em diversas ruas da cidade de Palmeirina, causando desabamento de diversas residências, destruição de estradas e bueiros,

impossibilitando o tráfego de veículos. Em março de 2005 o município sofreu com as intensas precipitações que superaram a 90% da média histórica.

São João apresentou mananciais com baixos volumes e entre os anos de 2008 e 2009 ocorreram quedas nas reservas hídricas, resultando na escassez de água potável para abastecimento humano e animal.

A estiagem persistente foi grande característica do município de Lagoa do Ouro em que esta condição climática tornou dramática para a população, resultando na retração econômica provocando êxodo rural. Setores como transporte público, aulas, escoamento de produções foram impactadas ao longo do estudo. O mesmo ocorreu para o município de Capoeiras.

A quadra invernal no município de Jucati apresentou baixas precipitações de dezembro de 2001 a janeiro de 2002, comprometendo os mananciais de abastecimento de água bem como também no município de Jupi. Em Jurema o transbordamento de rios e riachos fugiu da normalidade climatológica da região, causando diversos danos e prejuízos à população local.

Em Calçado as chuvas não conseguiram encher os reservatórios em 2002 enquanto que em 2008 os altos índices pluviométricos no mês de março superaram a média histórica (278 mm quando a média histórica era de 82 mm), acarretando danos e prejuízos ao município. Enquanto que os anos posteriores houveram redução na precipitação para níveis inferiores aos da normal climatológica. Estes baixos níveis de precipitação foram também verificados em Canhotinho que de janeiro a maio de 2012 houve uma redução de 75% com relação ao ano de 2011 e 50% com relação ao ano de 2010. O mesmo quadro de seca foi observado por Marengo et al. (2016), em que entre os períodos de 2011 a 2014 o semiárido Nordeste apresentou uma grande área com deficiência hídrica, áreas onde o balanço hídrico foi negativo em razão da falta de chuvas, temperaturas elevadas e seca do ar.

As enchentes e maior intensidade das chuvas em Garanhuns representou em uma perda de animais, isolamento de rodovias como a PE-120 e 123 por queda de barreira e por níveis de água superiores em seu leito em 1984 e como observado em 1992 acarretando em graves consequências social e econômica. Perda de lavoura e pastagens, foram provocados pela baixa e irregularidade pluviométrica em 2003 enquanto que em 2008 o excesso de chuva durante a época de colheita resultou em perda de mais de 60% na produção esperada de feijão e 80% na produção de milho.

Perda agrícola que se refletiu diretamente na economia do município foi também observado em Brejão em que a estiagem em 2001 resultou em 90% da safra e a pecuária de

leite sofreu perdas em função da secagem da pastagem. Em 2003 e 2004 a safra de grãos foram 50% menos em função da não formação de pastagem e a safra de manga e caju foram prejudicadas pela ocorrência de chuva, pois favoreceu o ataque de insetos, frustrando 70% da safra em 2004.

Em Murici, transbordamento de rios e deslizamento de encostas em 1989 resultou em um quadro de calamidade pública e situação de desespero da população humilde. Os péssimos indicadores sociais, a economia deficitária, o precário abastecimento de água potável e saneamento básico refletiram em incalculáveis prejuízos ao município e a sua população. Em 2010 os moradores da zona rural e urbana ficaram sem condição de deslocamento e sem comunicação, abastecimento de água potável e energia elétrica, sem acesso às escolas, postos de saúde e creches foram destruídas pela força das águas.

Transbordamento de rios e deslizamento de encostas também ocorreram em União dos Palmares, São José da Laje, Satuba, Rio Largo, Pilar, Atalaia, Capela e Maceió em 1989 com desabamento de casas e vítimas fatais e considerável contingente de desabrigados. Em 1993 os efeitos danosos decorrente do longo período de estiagem dizimou o gado e a lavoura. Na zona rural inúmeras famílias se retiraram de suas residências a procura de alimentos para suprir suas necessidades, causando aumento no quadro do êxodo rural. No ano de 2000 as fortes chuvas, seguidas de enchentes, abateram sobre o município nos últimos dias de julho, causando desabamento de casas, deslizamentos de barreiras, ruas danificadas e abastecimento de água e energia prejudicado.

Em 2010 o transbordamento dos rios Mundaú, Canhoto, Mirim, causaram danos e prejuízos à população. Enquanto que o ano de 2013 o baixo índice pluviométrico causou seca de açudes, riachos e nascentes prejudicando a safra de cana-de-açúcar, banana, laranja, abacaxi, macaxeira, inhame, feijão de corda e outras culturas produzidas neste município. Em São José da Laje fortes chuvas interrompidas de aproximadamente 12 horas causaram alagamento, desmoronamento de barreiras e destruição e danificação de casas, prédios públicos, comércio e pavimento em maio de 2009 e abril de 2010.

Em Santana do Mundaú a ausência de chuvas a vários meses provocou a perda de lavouras de forma irreversível, impedindo aos animais o acesso à água, dizimando pequenos rebanhos e a produção de laranja (principal produto agrícola do município) foi perdido cerca de 50% da sua produção. Em 2012 a baixa pluviosidade durante os meses de setembro a dezembro e janeiro a abril de 2013 comprometeram a produção de produtos de origem agropecuária em todo o município e em Branquinha, e a perda de laranja lima foi de 60% com

o esgotamento hídrico das plantas, formação irregular dos frutos e consequentemente perda da produtividade.

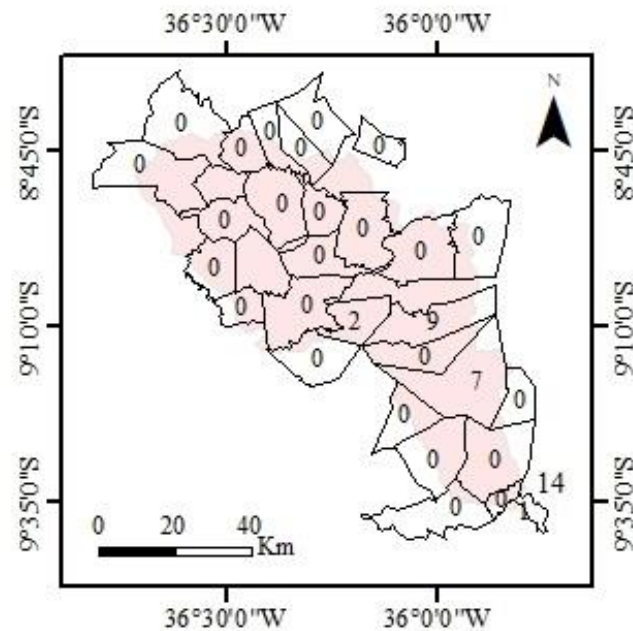
Chã Preta os péssimos indicadores sociais, a economia deficitária e precário abastecimento de água potável e saneamento básico do município auxiliaram o quadro de destruição oriundos das fortes chuvas que caíram no mês de julho de 2010. Em 2013 a seca refletiu na diminuição das vazões de córregos e riachos além do desaparecimento de nascentes. A economia por sua vez sofreu com a redução do volume de vendas de produtos agropecuários e no comércio de estabelecimentos localizados tanto na zona urbana como na zona rural.

Em 2000 no município de Messias, a ausência de um sistema de alerta e alarme de nível estadual com dificuldade de contato com municípios vizinhos em virtude da ocorrência de danos aos sistemas de comunicação e da interrupção de rodovias por queda de barreiras, pontes e alagamentos dificultou o socorro às vítimas enquanto que em 2008 este efeito ocasionado pelas chuvas intensas ocorreu durante 36 horas, repetindo o quadro de inundação e deslizamento de encostas.

Em 2009 as chuvas interruptas que atingiram o município de Capela de aproximadamente 24 horas de duração, causaram desabamento de encostas, destruição e danificações de casas, estradas e pontes. Foram atingidas cabeceiras de pontes, obras de artes, e estradas danificadas em uma extensão de 120 km, as quais serviam de acesso de transporte de alunos da rede municipal. Em 2012 como observados nos municípios citados acima, houve escassez de chuvas, incluindo o período historicamente considerado como quadra chuvosa no município. Em consequência disso verificou-se uma perda na produção agrícola e pecuária, visto que a principal fonte de produção do município é a cana de açúcar e criação de gado. Registrou-se também a redução de águas nos açudes das fazendas, que é a principal fonte de abastecimento rural. O baixo nível do Rio Paraíba deixou algumas localidades sem água corrente e o esgotamento das águas de poços, cacimbas devido ao baixo nível dos lençóis freáticos.

Verifica-se que a associação entre características de infraestrutura e a falta ou a elevados extremos de precipitação, resultam em danos irreparáveis, como observado por Moura (2011). Desta forma, é digno ilustrar os óbitos registrados nos municípios que compõem a bacia do Rio Mundaú oriundos dos desastres associados aos eventos climáticos de 1963 a 2017, conforme a figura 13. Para o período analisado foram contabilizadas 31 mortes.

Figura 13- Número de óbitos registrados entre 1963 a 2017 nos municípios que compõe a bacia hidrográfica do Rio Mundaú.



Fonte: Elaborado por Mariana Caroline Gomes de Lima (2018).

De acordo com Freitas et al. (2012), em média 102 milhões de pessoas são afetadas por enchentes a cada ano no mundo, e 366 mil por deslizamento de terra, secas e estiagens representam um total de 558 mil vidas. Cabe ressaltar que dessas mortes, 14 foram registradas na região metropolitana de Maceió.

O deslocamento de famílias para outras localidades é verificado em trabalho realizado por Valencio (2005), quando os riscos de colapso das obras civis são classificados como alto pela Defesa Civil ou quando a degradação já ocorreu, por sua vez, colocam-no na condição de desalojado – quando permitem compartilhar a moradia com parentes ou amigos, ou desabrigados – quando por motivos diversos, as alternativas citadas anteriormente é obrigado a fixar-se temporariamente em abrigos públicos.

Assim, é oportuno destacar o número de famílias desalojadas e desabrigadas no período de 1963 a 2017 nos municípios que compõe a bacia do Rio Mundaú (Tabela 5), revelando a necessidade do monitoramento das áreas propícias à desastres e organização pública.

Tabela 5- Número de eventos registrados no período de 1961 a 2017 para os municípios da bacia do Rio Mundaú evidenciando o número de pessoas afetadas, desalojadas, desabrigadas e deslocadas

Municípios	Afetadas	Desalojadas	Desabrigadas	Deslocados
Angelim (PE)	14688			
Brejão (PE)	32368			
Caetés (PE)	203151			
Calçado (PE)	37384	45	45	10
Canhotinho (PE)	29365			
Capoeiras (PE)	60136			
Correntes (PE)		2330	233	
Garanhuns (PE)	63538			
Jucati (PE)	15810			
Jupi (PE)	34542	118	46	
Jurema (PE)	27856			
Lagoa do Ouro (PE)	8823			
Lajedo (PE)	112322			
Palmeirina (PE)	9711			
São João (PE)	43477	214		60
Atalaia (AL)	350	4810	116	
Branquinha (AL)	5490	3200	1000	
Capela (AL)	21966	100	300	
Chã Preta (AL)	7564			
Ibateguara (AL)	15863			
Maceió (AL)		540	1090	210
Messias (AL)	500			
Murici (AL)	1235	10000	5000	
Pilar (AL)				
Rio Largo (AL)	567	185	184	
Santana do Mundaú (AL)	862	3750	500	
São José da Laje (AL)	1039	5100	541	520
Satuba (AL)		905	200	
União dos Palmares (AL)	1872	20000	9453	415

Fonte: Elaborado por Mariana Caroline Gomes de Lima (2018).

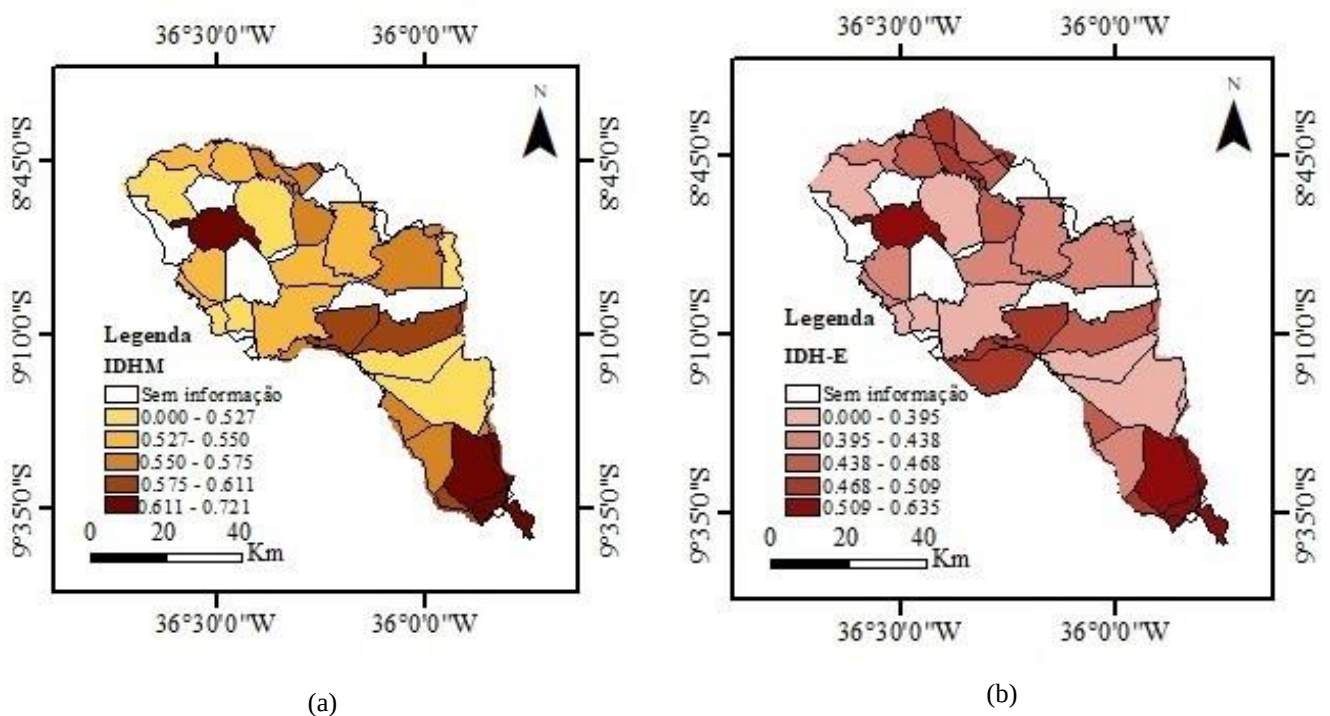
Observa-se ainda na figura 14 que dentre os municípios, a região pertencente ao estado de Alagoas são as áreas mais impactadas pelos efeitos das chuvas em que verifica-se que em União dos Palmares houve o desalojamento de 20.000 mil famílias, Murici 10.000 mil e em Atalaia 4.810 mil famílias e o número de desabrigados superaram o número de 9.453 mil família em União dos Palmares. Ao analisar os municípios pertencentes ao estado de Pernambuco fica evidente que o número de famílias desalojadas foi maior Correntes com 2.330 mil famílias desalojadas e o menor registro no município de Calçado enquanto que o

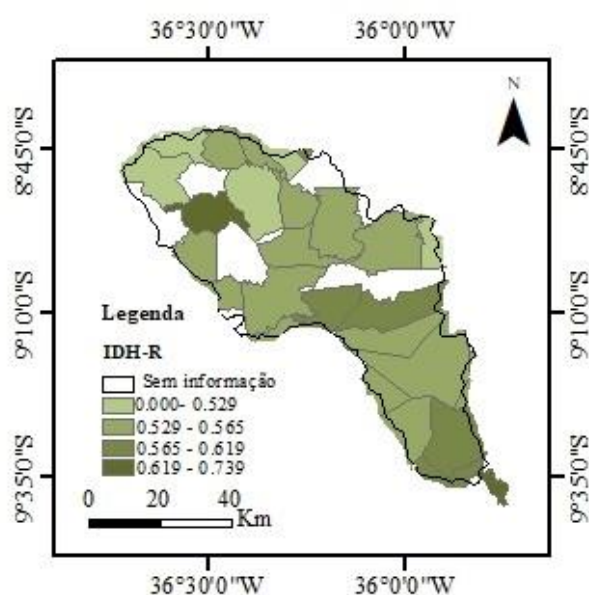
número de desabrigados foi maior em Correntes com 233 famílias desabrigadas e o menor em Calçado com 45 famílias desabrigadas.

Ressalta-se, portanto, que não é de hoje que as pessoas convivem com esses riscos, e o crescimento urbano desordenado, expõe à comunidade aos desastres que por sua vez ultrapassam os limites de tolerância nos planos social e ambiental. Sirvinskas (2018), relata que as mudanças climáticas causarão deslocamento maciço de populações que atualmente encontram-se vivendo em áreas de riscos e há necessidade de haver políticas públicas adequadas para acolher os deslocados ambientais ou climáticos.

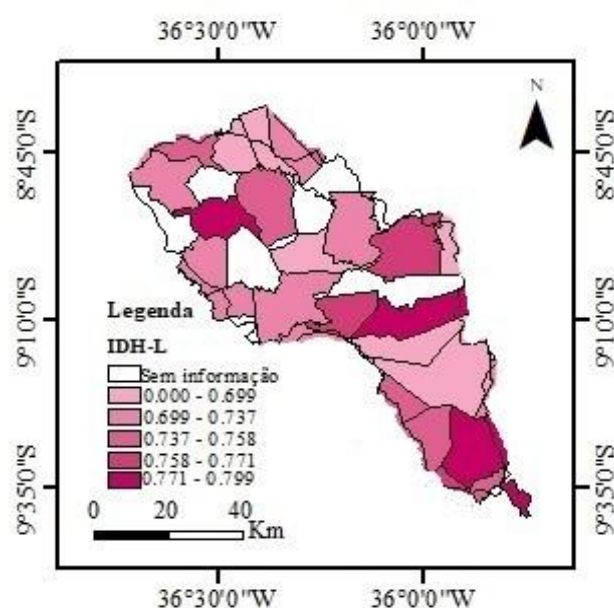
Em estudo elaborado por Augustin et al. (2014), a qualidade de vida é altamente dependente das variáveis relacionadas à ocupação do meio físico e sua densidade populacional, portanto, observa-se na Figura 15, que os maiores índices de IDH-M são observados na porção sul da bacia do rio Mundaú (0.611-0.721) que compreende os municípios de Rio Largo, Maceió e Pilar com IDH-M de (0.575-0.611). Ao observar a porção norte da bacia verifica-se que Garanhuns apresenta o maior IDHM de (0.611-0.721). Por outro lado, os piores índices (0.000 – 0.527) foram observados em pontos isolados na bacia que são eles: Lagoa do Ouro, Murici, Ibateguara, Branquinha, São João e Jurema.

Figura 14- Distribuição espacial do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, Índice de Desenvolvimento Humano educacional, Índice de Desenvolvimento Humano Renda, e Índice de Desenvolvimento Humano Longevidade nos municípios que compõe a bacia do Rio Mundaú.





(c)



(d)

Fonte: Elaborado por Mariana Caroline Gomes de Lima (2019).

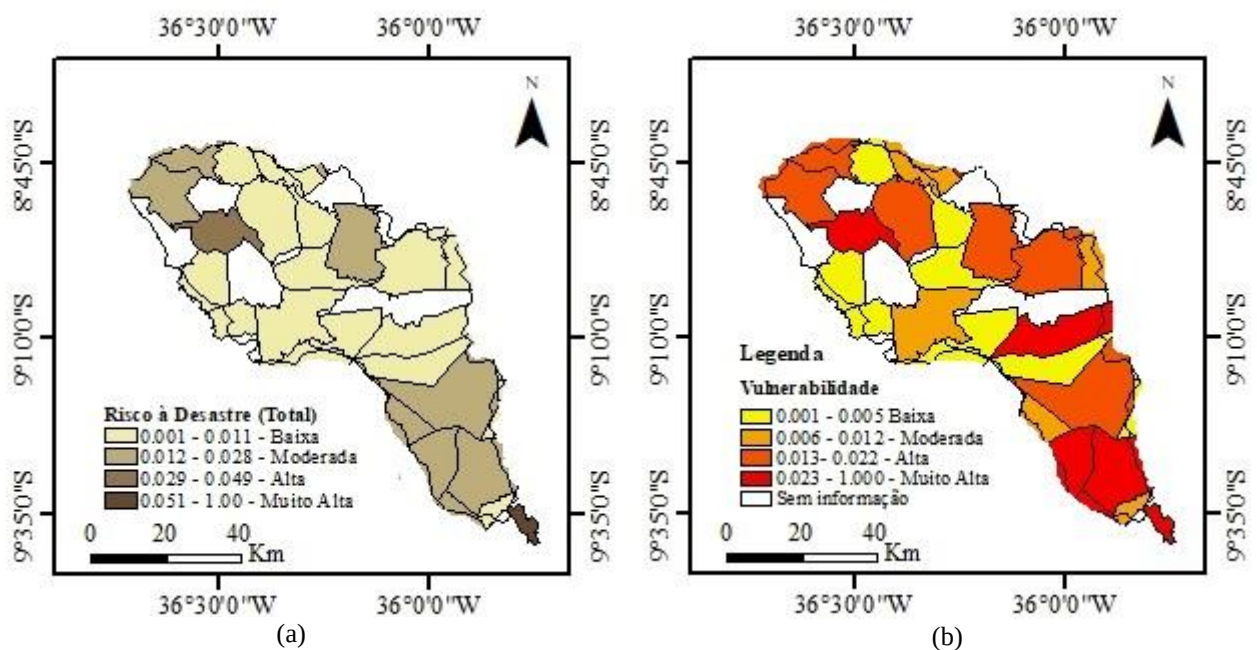
Em relação aos parâmetros IDH-E, IDH-R e IDH-L, verifica-se a alta similaridade com o IDH-M e grande similaridade estética entre os mapas, é oportuno ressaltar entre as regiões da bacia que para a região norte-oriental da bacia os municípios de Caetés, Jurema e São João e na porção central os municípios de Correntes, Lagoa do Ouro e Ibateguara e na porção sul Branquinha e Murici apresentam os piores índices de IDH-E, evidenciando os contrastes sociais e econômicos existentes nesses municípios. Skidmore e Toya (2005), identificaram em seu estudo que a correlação entre países desenvolvidos e com alta taxa de escolaridade, maior abertura econômica e menor atuação do governo na economia, acabam por ter em média um menor nível de mortes e danos materiais devido a desastres naturais.

Verifica-se na Figura 15 a distribuição espacial do risco a desastre e de vulnerabilidade dos municípios, cujo riscos Baixa e Alta estão presentes em maior quantidade em risco a desastres. Destaca-se o município de Maceió – AL, cujo o valor de risco foi verificado a 0.051-1.00, em virtude dos casos de transbordamento de rios, deslizamento de encostas, desabamento de casa, inundações, chuvas intensas, pontos de alagamentos e população em áreas de risco, representando o único município com valor muito alto a desastre e o município de Garanhuns com risco à desastre alto com valor variando entre 0.029 -0.049. Quando estas ocupações ocorrem de forma desordenada, em trabalho realizado por Aragão et al. (2017) ao analisar a densidade populacional e o impacto do crescimento populacional

sobre o escoamento simulado, observou-se que diversos impactos são ocasionados, dentre elas a impermeabilização que se reflete sobre o saneamento ambiental e sobre as águas urbanas e seu sistema de drenagem.

Para o cenário de vulnerabilidade observado na Figura 15b, praticamente todos os municípios se encontram em grau de vulnerabilidade que varia de moderada a muito alta, destacando os municípios de Garanhuns, União dos Palmares, Atalaia, Lajedo, Rio Largo e Pilar que obtiveram grau de vulnerabilidade muito alta virando de 0.023 – 1.000 e Alta os municípios de Capoeiras, Caetés, São João, Canhotinho, São José da Laje e Murici, com valores de 0.013 – 0.022.

Figura 15- Distribuição espacial do índice de risco e de vulnerabilidade a desastres dos municípios que compõe a bacia hidrográfica do rio Mundaú para o período de 1963 a 2017.



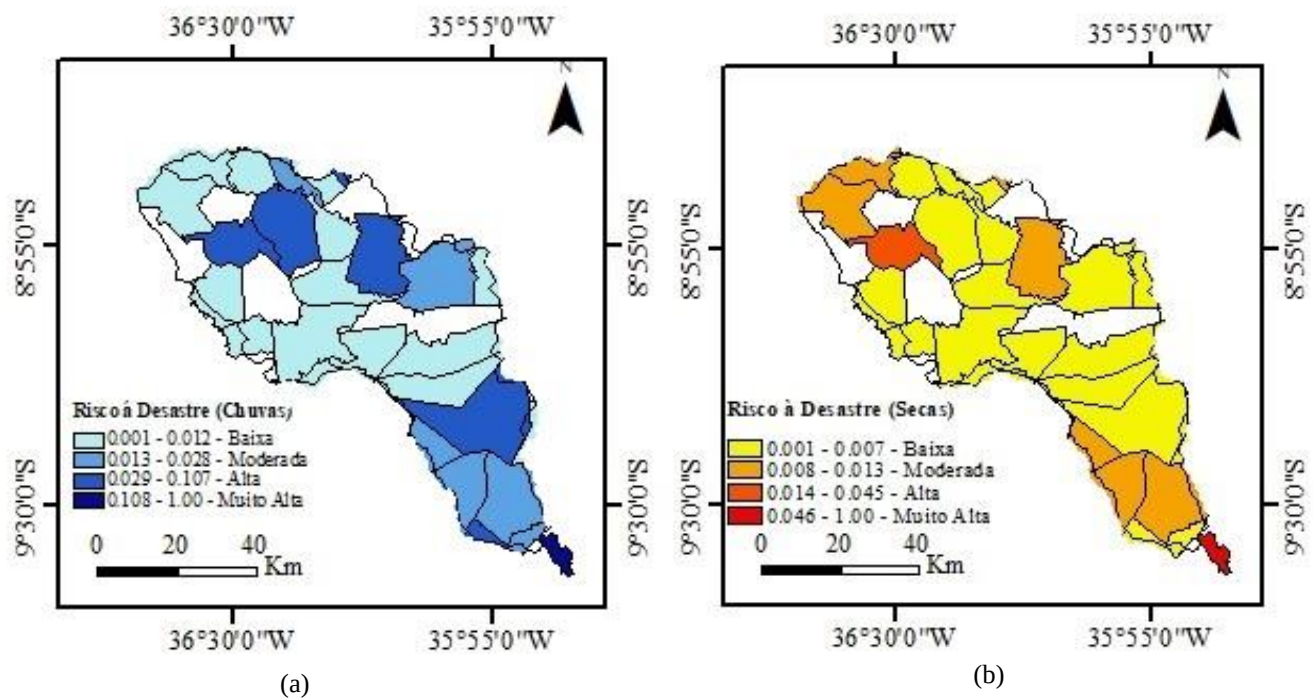
Fonte: Elaborado por Mariana Caroline Gomes de Lima (2018).

Estes riscos em aplicação de Mateus (2014), ao ser vinculados à exposição a extremos são diversos e tem relação direta com a vulnerabilidade das populações à magnitude dos eventos, visto que agravam os problemas e afetam a vida social ao acentuarem à exposição das populações mais vulneráveis.

Quanto ao risco de desastre às chuvas (Figura 16a), observa-se que a região sul da bacia apresenta índices que variam de moderada (0.013-0.028) a muito alta (0.108 – 1.00), enquanto que para a região central e norte-oriental da bacia apresentam pontos isolados de

alto risco a desastre no período chuvoso, sendo mais dominante o baixo risco. Ao observar estes dados, observa-se que o município de Maceió que apresenta índice a desastre muito alto para o período chuvoso, foi observado por Moura et al. (2016), neste este município os eventos excepcionais de chuva deflagram desastres geológicos do tipo deslizamento e escorregamento, devido à ocupação habitacional irregular, principalmente, habitações pertencentes à população mais pobre que se localizam nas vertentes dos tabuleiros e das colinas de litologia sedimentar da Formação Barreiras.

Figura 16- Distribuição espacial do índice de risco a desastres de chuva (a) e risco à desastre de seca (b) dos municípios que compõe a bacia hidrográfica do rio Mundaú para o período de 1963 a 2017.



Fonte: Elaborado por Mariana Caroline Gomes de Lima (2018).

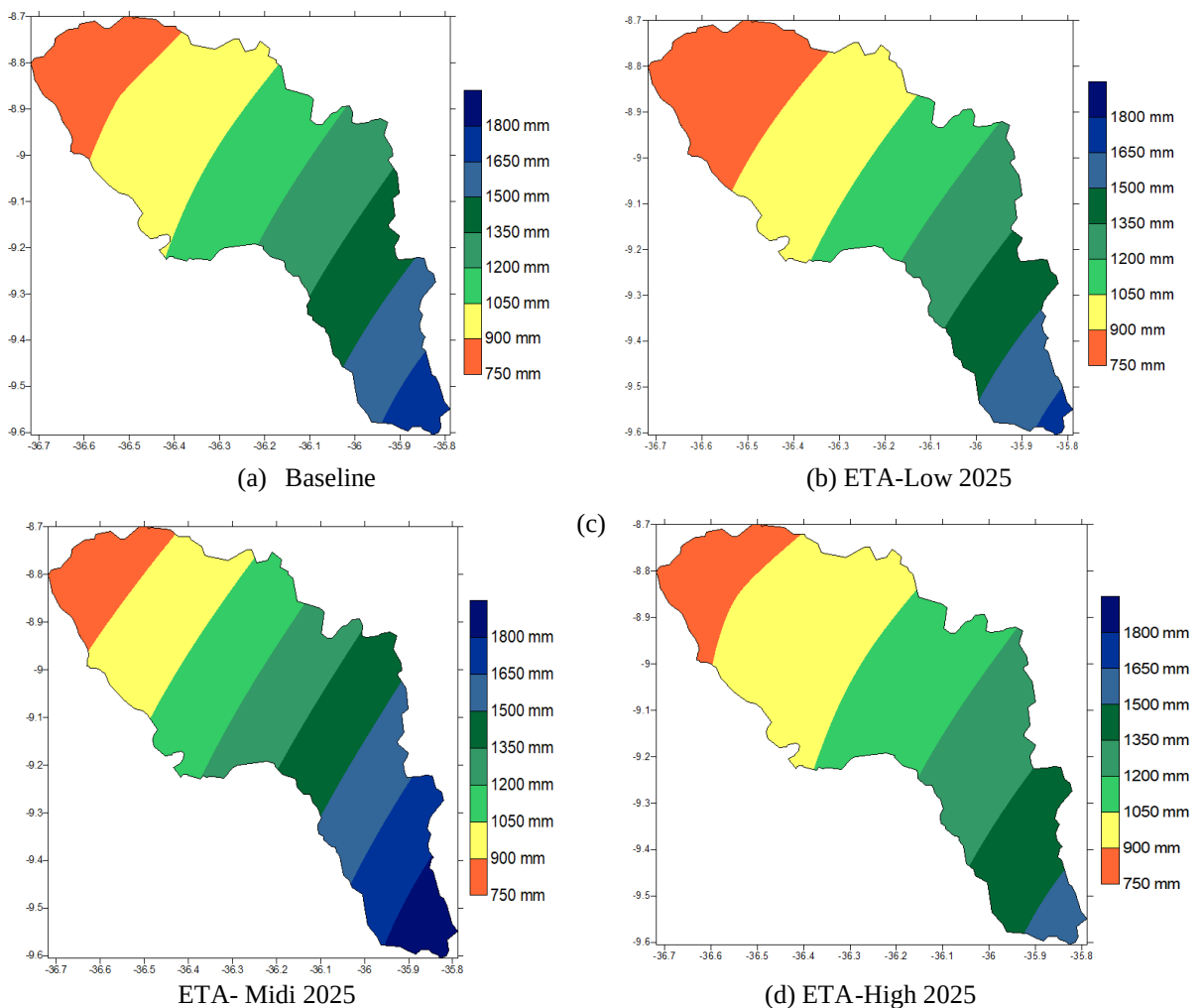
Ainda analisando a figura 16b verifica-se que os riscos à desastres no período seco é mais uniforme em toda a bacia, sendo ocasionado de maneira Alta apenas em Garanhuns (0.014-0.045) e muito Alta em Maceió (0.046-1.00). Em estudo elaborado por Olímpio (2013) e Barbieri (2014), este fato é respondido pela circunstância em que cidades do semiárido estão inseridas, onde, o predomínio do clima mais quente e seco ocorrem registros de desastres naturais do tipo de estiagem/seca, os eventos de chuvas intensas e extremas possuem

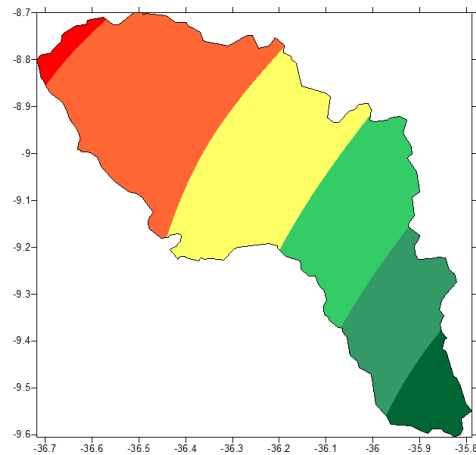
periodicidade esporádica, que por sua vez, podem deflagrar desastres hidrometeorológicos com danos comparados aos danos gerados de estiagem e seca.

5.3 Cenários climáticos da precipitação pluviométrica

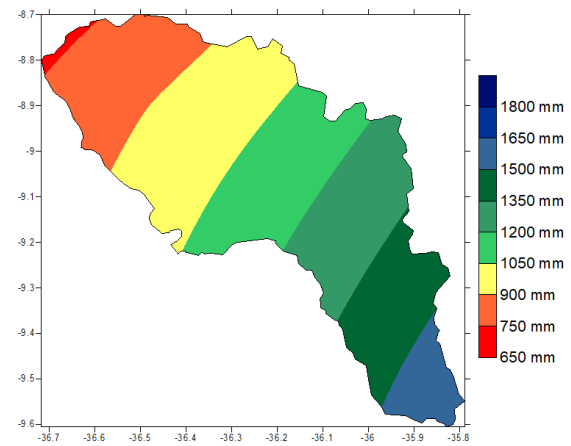
Os cenários climáticos futuros da precipitação são observados na Figura 17 para os anos de 2025 e 2055, apresentando em (a) as normais climatológicas da precipitação para o período de 1960 à 1991 referida como Baseline, enquanto que os cenários para 2025 se apresentam em (b) ETA-Low, (c) ETA-Midi, (d) ETA-High correspondente a baixa, média e alta sensibilidade do modelo, respectivamente, enquanto que para o ano de 2055 estão expressos em (e) ETA-Low, (f) ETA-Midi e (g)ETA-High, seguindo a mesma ordem de sensibilidade do modelo.

Figura 17 - Cenários climáticos da precipitação pluviométrica anual para os anos de 2025 e 2055 para a bacia hidrográfica do rio Mundaú.

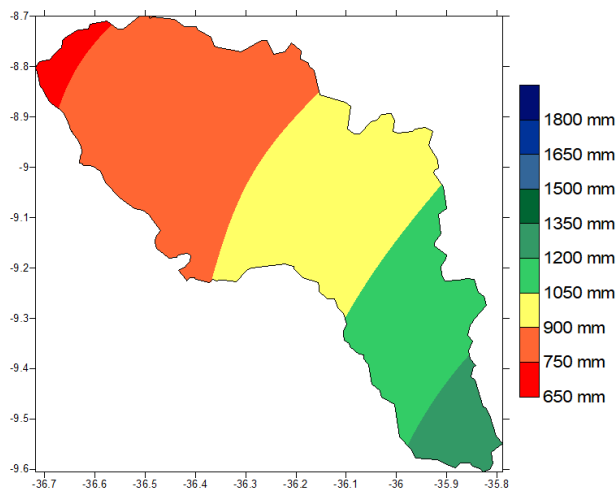




(e) ETA- Low 2055



(f) ETA-Midi 2055



(g) ETA-High 2055

Fonte: CPTEC/INPE (2018).

A Baseline observada na figura, expressa um cenário climático de elevados índices de precipitação em toda região sul e central, que compreendem à zona baixa e média da bacia, variando de 1800 a 1500 mm anuais. A área norte-oriental da bacia apresenta baixos índices de precipitação anual, variando de 950 mm a 750 mm anuais em (a) Baseline.

Salienta-se que a diferença abrupta nos valores das precipitações em uma mesma bacia hidrográfica em que não representam nenhum limite físico para a transição das condições naturais de uma região para outra deve-se principalmente pelo fato de que esta bacia apresenta em sua zona baixa, aproximação entre a Mata Atlântica e a medida que se aproxima da região Agreste.

Verifica-se que os cenários ETA-Low (b), e ETA-High(d) para o ano de 2025 Figura tal, demonstram uma tendência de diminuição da precipitação no sul da bacia em que a precipitação varia de 1650 mm a 1800 mm e 1500 mm respectivamente. Ao observar o norte-

oriental que compreende a zona alta da bacia, o modelo ETA-High apresenta alterações significativas em que ocorre o aumento das áreas que a precipitação diminuirá. Já o cenário otimista para região é observado no ETA-Midi que a área correspondente ao sul da bacia (que para os outros modelos uma pequena parte variava entre 1650 mm à 1800 mm), ocorreu uma maior abrangência. O mesmo é observado para o Agreste em que o maior domínio de precipitação para os demais modelos são precipitações de 900 mm e a área que compreende 750 mm, houve uma diminuição.

Os cenários ETA-Low (e), ETA-Midi (f), e ETA-High (g), configuram-se em perspectivas menos otimistas para os extremos da bacia. O modelo ETA-Low (e) demonstra diminuição dos índices de precipitação, em que uma área que compreendia um volume de 750 mm a 900 mm em 2025, para o ano de 2055 as precipitações não passariam de 750 mm, evidencia uma presença nesse modelo para o surgimento de uma pequena área com a presença de 650 mm. A mesma diminuição marcante é encontrada para o sul da bacia para o mesmo modelo, em que a precipitação que variava de 1500 a 1800 mm, para o ano de 2055 para esta área não ocorreria um volume maior que 1350 mm.

O ETA-Midi (f) para o ano de 2055 exibe o cenário mais otimista para a região sul da bacia e menos pessimista em comparação aos demais modelos para o norte-oriental da bacia em que a precipitação varia de 1500 a 1200 até a área central da bacia. O ETA-High (g) se mostrou o pior índice de precipitação para a bacia no ano de 2055 ocorrendo uma expansão das áreas mais secas, apresentando precipitações que variam de 650 mm a 1350 mm. Evidencia neste modelo que áreas úmidas como a região sul da bacia que apresenta sistemas atmosféricos dominantes, apresenta tendência à aridização.

Os cenários climáticos da precipitação anual para os anos de 2025 e 2055 em sua alta, média e baixa sensibilidade (exceto o ETA-Midi para 2025), exibem um aumento relevante da abrangência de áreas dos baixos índices de precipitação pluviométrica, representando uma perspectiva desafiadora para o desenvolvimento de diversas atividades desenvolvidas na bacia.

Os métodos de aplicabilidade de previsão da precipitação com o objetivo de aumentar a representatividade dos processos em mesoescala. Em trabalho realizado por Silva (2012), a confiabilidade dos modelos regionais e sua precisão, depende da qualidade da condição de contorno lateral e da sua capacidade do modelo regional de desenvolver características reais do clima em estudo, enquanto que para Santiago (2015), ao elaborar estudo para a Zona da Mata de Pernambuco, os modelos climáticos é influenciada também por diferentes fenômenos atmosféricos, além da ocorrência de diferença escala espacial entre os valores simulados e

observados. Em contrapartida, Valverde e Marengo (2010), relatam que os modelos climáticos globais ainda não conseguem reproduzir com alta confiabilidade o padrão sazonal de precipitação quando comparado com a climatologia observada.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O período úmido da bacia do rio Mundaú corresponde aos meses de março a julho, com destaque para o quadrimestre mais chuvoso (abril, maio, junho e julho) que representa 56% das chuvas esperadas no ano. O período seco concentra-se entre os meses de setembro a fevereiro.

Constatou-se tendência de diminuição da precipitação pluviométrica em praticamente todos os municípios da bacia do rio Mundaú, cujos totais anuais da precipitação e desvios padronizados evidenciaram diminuição de anos com chuvas acima da média a partir do final da década de 80, e aumento da frequência de anos mais secos na região em relação aos anos chuvosos, indicando uma modificação no padrão da precipitação da bacia, com predominância de anos secos.

Os índices extremos de precipitação demonstraram que a maioria dos municípios apresentam uma tendência de aumento no índice Pr1 enquanto que as chuvas superiores a 10 mm e 20 mm apresentaram diminuição. Verificou-se tendência positiva de eventos extremos de precipitação intensa em algumas localidades da bacia, representado pelo índice de dias muito úmidos acima do percentil 95.

Na análise decadal constatou-se uma diminuição considerável das chuvas ao longo da bacia dos seis períodos analisados, especialmente nas regiões norte e noroeste, próximas ao Sertão de Pernambuco.

Os cenários climáticos para os anos de 2025 e 2055 da precipitação também indicam diminuição dos totais anuais.

Os maiores registros dos impactos dos eventos extremos são as estiagens, enxurradas, secas, inundações e alagamentos, sendo que os eventos de secas estão concentrados na região semiárida e os de chuva próximo ao Litoral da bacia.

Observou-se que para os índices de desenvolvimento os maiores índices de IDH-M foram encontrados na porção sul da bacia do rio Mundaú, enquanto os piores índices pontos isolados. Para os parâmetros IDH-E, IDH-R e IDH-L, verificou-se alta similaridade com o IDH-M. Os municípios localizados no norte/noroeste e na porção sul da bacia apresentaram os piores índices de IDH-E, evidenciando os contrastes sociais e econômicos existentes nessas regiões.

Com relação ao mapeamento dos índices de risco a desastres e de vulnerabilidade, as regiões sul/sudeste e extremo norte/noroeste apresentam risco a desastres moderado a muito alto em relação aos eventos extremos, bem como vulnerabilidade alta a muito alta nessas

regiões e em algumas localidades da área central da bacia, evidenciando que os eventos extremos de precipitação (chuvas intensas e secas) tem relação direta com a vulnerabilidade das populações da bacia, afetando as condições socioeconômicas e ambientais, e consequentemente a qualidade de vida na região.

O conhecimento destes índices permite em bacias hidrográficas com diferentes usos do espaço urbano e rural, agregar com informações, auxiliando em tomada de decisões dos atores públicos e comunitários, maximização a produção rural além de impedir pontos de alagamentos e de deslizamentos de encostas.

Apesar destas alterações observadas no presente estudo, não pode ser afirmado que as tendências destes índices estão relacionadas apenas às mudanças climáticas globais, visto que a bacia do Rio Mundaú apresenta históricos que podem ter modificado o clima da região, como por exemplo, a substituição de áreas vegetadas por asfaltos, desmatamento e urbanização acelerada.

REFERÊNCIAS

- ALCOFORADO, F. Os condicionantes do desenvolvimento do Estado da Bahia. Doctoral dissertation, Tese (Doutorado em Planificación Territorial y Desarrollo Regional)–Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Barcelona, Barcelona). 2003.
- ALVES, J.M.B. Um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis sobre o Nordeste do Brasil e Atlântico Adjacente no verão de 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, n.1, 115-122. 2001.
- ALVES, L. M.; MELO, A. B. C.; CHOU, S. C.; NOBRE, P. Estudo comparativo entre a precipitação sazonal simulada pelo modelo ETA e observada sobre o Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Rio de Janeiro (RJ). Anais... SBMET. Artigos, p. 1029-1035. CD-ROM. 2000.
- ANANIAS, D. S. et al. Climatologia da estrutura vertical da atmosfera em novembro para Belém-PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 218 – 226, 2010.
- ANDRADE, G. O. D., & LINS, R. C. Introdução ao estudo dos brejos pernambucanos. **Arquivos do Instituto de Ciências da Terra**, v.2, p.21-33. 1964
- ARAGÃO, JOR de. A influência dos oceanos Pacífico e Atlântico na dinâmica do tempo e do clima do Nordeste do Brasil. **Oceanografia–Um cenário tropical (Eds E. Esquinazi-Leça, S. Neumann-Leitão and MF Costa.)** pp, p. 287-317, 2004.2004.
- ARAKAWA, A; LAMB, V. R. **Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model**. Methods in Computational Physics. Academic Press:. 17.ed p.173-265, 1977.
- AUGUSTIN, S., RODRIGUES, I.N., LEONARDELLI, P.P. A influência da densidade populacional no desenvolvimento sustentável. In: Cunha, Belinda Pereira da; Augustin, Sérgio. (Org.). **Revista de direito brasileiro**. 1ed. EDUCS, Caxias do Sul, p. 89-104. 2014.
- AYOADE, J. O. Introdução à Climatologia para os Trópicos. 11ª edição. **Bertrand Brasil**, 2006.
- BARBIERE, G. M. L. Eventos de chuva extrema associados a sistemas atmosféricos de escala sinótica e escala local no estado do Ceará. 2014. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós- graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- BARBOSA, K. T. F. et al. Envelhecimento e vulnerabilidade individual: um panorama dos idosos vinculados à estratégia saúde da família. **Texto & Contexto-Enfermagem**, v. 26, n. 2, 2017.
- BARCELLOS. et al. Diagnóstico Meteorológico dos desastres naturais ocorridos nos últimos 20 anos na cidade de Duque de Caxias. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31(3), p.319-329. 2016.

- BAZZANO, Marcos Gabriel Peñalva; ELTZ, Flávio Luiz Foletto; CASSOL, Elemar Antonino. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). **Revista brasileira de ciência do solo**. Viçosa. V.34, n.1. p. 235-244. 2010.
- BERBERY, E. H.; COLLINI, E. A. Springtime precipitation and water vapor flux over southeastern South America. **Monthly Weather Review**, v.128(5), p.1328-1346. 2000
- Bertoni, J. C. tucci, Hidrologia: Ciência e aplicação..Porto Alegre: UFRGs, v.177. 2007.
- BLACK, T.L. The new NMC mesoscale Eta model: description and forecast examples. **Wea. Forecasting**, v. 9, 265- 278. 1994.
- BURGES, C. P. et al. A macro-scale flood risk model for Jamaica with impact of climate variability. **Natural Hazards**, v.78, n.1, p.231-256, 2015.
- CAVALCANTI, Iracema FA et al. Global climatological features in a simulation using the CPTEC–COLA AGCM. **Journal of Climate**, v. 15, n. 21, p. 2965-2988, 2002.
- CAVALCANTI, I. F. A. et al. Características climatológicas sobre a América do Sul nos resultados de uma simulação de 10 anos com o MCGA CPTEC, COLA na versão T62L28. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11.. Rio de Janeiro (RJ). **Anais... SBMET**, 2000. Artigos, p. 3552-3556. 2000.
- CHAVES, R.R.; CAVALCANTI, I.F.A. Atmospheric circulation features associated with rainfall variability over southern Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**. v.129, 2614-2626, 2001.
- CHAVES, R.R.; NOBRE, P. Interactions between the sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. **Geophysical Research Letters**, v. 31, 2004.
- CHIERICE, R. A. F. Variabilidade espacial e temporal de precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu. 2013.
- CHOU, Dean-Yi; SUN, Ming-Tsung; CHANG, Hsiang-Kuang. A study of sunspots with phase time and travel time of p-mode waves in acoustic imaging. **The Astrophysical Journal**, v. 532, n. 1, p. 622, 2000.
- CHOU, Sin Chan. Avaliação Objetiva DAS Previsões DE Precipitação Do Modelo Regional Eta. In: **X Congresso de Meteorologia, Brasília-DF**. 1998.
- COELHO. et al. Estudo de chuvas intensas para a cidade de Goiânia/GO por meio da modelação de eventos máximos anuais pela aplicação das distribuições de Gumbel e Generalizada de Valores Extremos Intense rainfall study of Goiânia/GO by modeling maximum annual events using Gumbel and Generalized Extreme Value distributions. **AMBIÊNCIA**, v. 13, n. 1, p. 75-88, 2017.
- COELHO, C. A. S. et al. Toward an Integrated Seasonal Forecasting System for South America. **Journal of Climate**, v.19, n.12, p.3704-3721, 2006.
- CONFALONIERI, Ulisses EC. Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil. **Terra livre**, v. 1, n. 20, p. 193-204, 2015.

CONOVER, W. J. **Practical Nonparametric Statistics**. Third edition. John Wiley & Sons New York. 1999.

COSTA, J. N. Riscos e desastres relacionados a eventos extremos (climáticos e meteorológicos) no estado da Paraíba. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 4, p. 111-125, 2018.

Coutinho, M. D. L., Gan, M. A., & Rao, V. B. Método objetivo de identificação dos vórtices ciclônicos de altos níveis na região tropical sul: validação. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 25, n. 3, 2010.

Silva. et al. Avaliação dos impactos da poluição nos recursos hídricos da bacia do rio Mundaú (AL e PE). **Revista de Geografia (Recife)**, v. 24, n. 3, p. 210-223, 2010.

DAVIE, Tim. **Fundamentals of hydrology**. Routledge, 2008.

ARAGÃO. et al. Impacto do Uso do Solo pelo aumento da Densidade Populacional sobre o escoamento numa área urbana do Nordeste Brasileiro via Geotecnologias e Modelagem hidrológica (Land use and population density Impacts on runoff in a Brazilian northeast urban area...). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10 p. 543-557. 2017.

SALVADOR. Climap–aplicativo para análise de dados climáticos-versão 3.0. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20. 2017

MORAES. et al. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazon**, v. 35, p.207-217. 2005.

DESLAURIERS, J. P. **Recherche qualitative: guide pratique**. McGraw-hill. . 1991.

DIAS, A. A. S., & DE OLIVEIRA DIAS, M. A. Educação ambiental. **Revista de Direitos Difusos**, v.68(1), p161-178. 2017

DIODATO, N.; KNIGHT, J.; BELLOCCHI, G. Reduced complexity model for assessing patterns of rainfall erosivity in Africa. **Global and Planetary Change**, v.100, p.183-193, 2013.

DOMINGUES, Edson Paulo; MAGALHÃES, Aline Souza; RUIZ, Ricardo Machado. Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos na região Nordeste. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 42, n. 2, p. 229-246, 2011.

DZIUBATE, E.R. Análise da distribuição espacial e temporal da pluviosidade na bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR. 2013. 71p. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia Ambiental)- Universidade Tecnológico Federal do Paraná, 2013.

ELTZ, F. L. F., MEHL, H. U., & REICHERT, J. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25. 2001.

EMANUEL, K. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. **Nature**, 436, 686-688, 2005.

FACETO, M. C.; PAIVA, C. F. E. A influência dos índices pluviométricos críticos na deflagração de acidentes geotectônicos no município de São Bernardo do Campo - SP. In: II **Simpósio de Pesquisa do Grande ABC**, Santo André 2012.

FARIAS, et al. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9. p. 415-421. 2001.

FARIAS, R. F. L., ALVES, K. M. A. S., & NÓBREGA, R. S. Climatologia de ocorrência de eventos extremos de precipitação na mesorregião do Sertão Pernambucano. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, 1 (5), 930-941, 2012.

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

FERREIRA, et al. Avaliação da tendência espaço-temporal da precipitação pluviométrica em uma região semiárida do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21. 2017.

FERREIRA, R. A. **A pesquisa científica nas ciências sociais: caracterização e procedimentos**. Recife, PE: UFPE, 1998.

FRANCISCO, P. R. M., DE MEDEIROS, R. M., BANDEIRA, M. M., DA SILVA, L. L., & SANTOS, D. Oscilação pluviométrica anual e mensal no estado da Paraíba-Brasil. **Revista de Geografia** (Recife), v.33. 2016.

FREITAS, C. M. D., CARVALHO, M. L. D., XIMENES, E. F., ARRAES, E. F., & GOMES, J. O. Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência: lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.17, p.1577-1586. 2012.

GALVANI, E. (org); LIMA, N. G.B de (org). **Climatologia Aplicada: Resgate aos estudos caso**. 1. Ed. Curitiba: Editora CRV, 2012.

GALVÍNCIO, J. D., & DE MOURA, M. S. B. (2005). Aspectos climáticos da captação de água de chuva no Estado de Pernambuco. Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE). 2005.

GALVÍNCIO. et al. Sistemas que favorecem ocorrência de chuva em região semiárida do Nordeste do Brasil: estudo de caso em São José do Sabugí-PB. **Revista de Geografia Física**. v. 27, n. 1, p. 202-217, 2010.

GENZ, F. Avaliação dos efeitos da Barragem de Pedra do Cavalo sobre a circulação estuarina do Rio Paraguaçu e Baía de Iguaçu. PhD MARCELO AUGUSTO GREVE PEREIRA; GUILHERME CAMARGO LESSA, 2006.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo, v.5, p.16-17. 2002.

GIORGI, et al. Regional climate information—evaluation and projections. 2001.

GIORGI, F.; MEARNS, L. O. Introduction to special section: Regional climate modeling revisited. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, n. D6, p. 6335-6352, 1999.

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, 2018.

GRANADO, D. C., HENRY, R., & TUCCI, A. Influência da variação do nível hidrométrico na comunidade fitoplanctônica do Rio Paranapanema e de uma lagoa marginal na zona de desembocadura na Represa de Jurumirim (SP). **Hoehnea**, p.113-129. 2009.

HORNER, W.W.; JENS, S.W. Surface runoff determination from rainfall without using coefficients. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 107, p. 1039-1117, 1942.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate change 2007. The physical science basis: Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate change 2007**, v. 996, 2007.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. Variabilidade decenal e multidecenal, In: Cavancanti, I.; Ferreira, N.; Silva, M. G. J. da; Dias, M. A. F. S. (ed.). **Tempo e Clima no Brasil**, Oficina de Textos, Sao Paulo, p. 375-383, 2009.

KOUSKY, V.E.; M.A. Gan: Upper Tropospheric Cyclone Vortices in the Tropical South Atlantic. *Tellus*, v. 33, 538-551. 1981.

KOUSKY, V.E.; ROPELEWSKI, C.H. Extremes in the Southern Oscillation and their relationship to precipitation anomalies with emphasis on the South American region. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 4, 351-363, 1989.

LACERDA, F. F., & LOPES, G. M. B. Extremos de chuva e seca em Pernambuco: uma realidade que veio para ficar. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, 13, 42-46. 2018.

LACERDA, F.; FERREIRA, M. A.F.; SOUZA, W.M. 2006. Climas do Estado de Pernambuco In: *Bacias Hidrográficas de Pernambuco*. Recife: Comunigraf Editora, p. 16-17.

LOPES, I., G, M. J. M. Análise da precipitação da estação da embrapa semiárido, projeto bebedouro Pretolina/PE, através da técnica de Quantis. In: **Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro. Campina Grande**. 2015.

LOZADA, Beatriz Ibet; ANGELOCCI, Luiz Roberto. Efeito da temperatura do ar e da disponibilidade hídrica do solo na duração de subperíodos e na produtividade de um híbrido de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 1, p. 37-43, 1999.

MAGALHÃES, A. R. Understanding the implications of global warming in developing regions: **The case of Northeast Brazil**. In: Schmandt, Jurgens e Judith Clarkson (eds.), 1992.

MARCELINO, E. V. Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. **Caderno didático**, v.1, p.34. 2008.

MARENGO, José A. et al. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, p. 384-422, 2011.

MARENGO, J. A., CUNHA, A. P., & ALVES, L. M. (2016). A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Climanálise**, v. 3, p. 49-54, 2016.

MARENGO, J. A.; et al. Assessment of Regional Seasonal rainfall predictability using the CPTEC, COLA atmospheric GCM. **Climate Dynamics**, v. 20, p. 459-475, 2003.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C.; OBREGON, G. O. Observed and projected changes in rainfall extremes in the Metropolitan Area of São Paulo. **Climate Research**, v. 57, p. 61-72, doi:10.3354/cr01160z, 2013.

MARENGO, J.A. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 16, 1-18, 2001.

MARENGO, J.A.; VALVERDE, M.C. Caracterização do clima no século XX e cenários de mudanças de clima para o Brasil no século XXI usando os modelos do IPCC AR4. 20 p. INPE ePrint: sid.inpe.br,mtc-m17@80,2007,04.19.18.09 v1, 2007.

MARENGO, Jose A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 149-176, 2010.

MATEUS, K.P.P.; **Ondas de calor e ondas de frio em Coimbra: impactes na mortalidade da população** (Master's thesis). 2014.

MELLO, C.R.; VIOLA, M.R.; BESKOW, S.; NORTON, L.D. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. Figura 7. Mapa de erosividade média anual (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ por ano) entre 1985 e 2009, para o Estado do Tocantins. Distribuição do potencial erosivo das chuvas 135 **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 49, n.2, p.125-135, fev. 2014.

MESINGER F. A blocking for representation of mountains in atmospheric models. **Revista de Meteorologia Aeronautica**, v.44, n.1-4, p.195-202, 1984.

OLION, L. C. B., & Bernardo, S. D. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

MORETI, et al. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 713-725. 2003.

MOTA, A. D. S. et al. Perfil de fermentação e perdas na ensilagem de diferentes frações da parte aérea de quatro variedades de mandioca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1466-1473, 2011.

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, p. 2653-2675, 1981.

MOURA, M. O., CUNICO, C., NÓBREGA, R. S., & DUARTE, C. C. Desastres hidrometeorológicos na região Nordeste do Brasil: distribuição espaço-temporal dos reconhecimentos de Estado de Calamidade Pública. **Caderno de Geografia**, v. 26(2), p. 259-271. 2016.

MOURA, R. G., HERDIES, D. L., MÔNICA, D. M. E., & MENDES, C. D. Avaliação do modelo regional ETA utilizando as análises do CPTEC e NCEP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25(1), p. 46-53.2010.

MOURA, Rildo Gonçalves et al. Avaliação do modelo regional ETA utilizando as análises do CPTEC e NCEP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 1, p. 46-53, 2010.

MUDANÇA do clima: negociações internacionais sobre a mudança de clima: vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança de clima. Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da Republica, 2005. (Cadernos NAE, v. 1).

NEUHAUS, F. Influência das mudanças climáticas no regime pluviométrico em Erechim,RS no século XXI. 2017.

NIMER, E. 1979. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro, 18GE-SUPREN. 421 p.
NÓBREGA, R da; et al. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografía Norte Grande**, n. 63, p. 9-26, 2016.

NÓBREGA, R. S., FARIAS, R. F. L., & SANTOS, C. A. C. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 171-180, 2015.

NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K.C. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. **Mon. Wea. Rev.**, 125, 279-291, 1997.

OLÍMPIO, J. L. S; VIEIRA, P. M; ZANELLA, M. E; SALES, M. C. L. Episódios Pluviais Extremos e a Vulnerabilidade Socioambiental do município de Fortaleza: o episódio do dia 27/03/2012. **Revista Geo**. v. 1, n. 24, p. 181 - 206, 2013.

OLIVEIRA ALVES, J., DE CALDAS PEREIRA, P., DE QUEIROZ, M. G., DA SILVA, T. G. F., DA SILVA FERREIRA, J. M., & JÚNIOR, G. D. N. A. Índice de anomalia de chuva para diferentes mesorregiões do Estado de Pernambuco. **Revista Pensar Acadêmico**, 14(1), 37-47. 2016.

OLIVEIRA, Priscila Teles de; LIMA, Kellen Carla; E SILVA, CM Santos. Synoptic environment associated with heavy rainfall events on the coastland of Northeast Brazil. **Advances in Geosciences**, v. 35, p. 73, 2013.

OYAMA, M. D., C. A. NOBRE. 2003. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. **Geophysical Research Letter**, 30, 23, 2199, 2003.

PAMPUCH, L. A., & MARCELINO, I. Desastres naturais no município de Santa Maria-RS: análise das causas e consequências. **Encontro Sul Brasileiro de Meteorologia**, v.2. 2007.

PBMC - PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil. 24 p, 2013

PINKAYAN, Subin. Conditional probabilities of occurrence of wet and dry years over a large continental area. **Hydrology papers (Colorado State University)**; no. 12, 1966.

RAMÍREZ, Maria CV; KAYANO, Mary T.; FERREIRA, Nelson J. Statistical analysis of upper tropospheric vortices in the vicinity of northeast Brazil during the 1980-1989 period. **Atmosfera**, v. 12, n. 2, 2009.

REIS. et al. Análise dos dispositivos legais nos estados brasileiros perante a Resolução 420/2009. **Âmbito Jurídico, Rio Grande [Internet]**, 2017.

ROPLEWSKI, C. F. and BELL, M. A. Shifts in the Statistics of Daily Rainfall in South America Conditional on ENSO Phase. **Journal of Climate**, v.21, n.5, p.849-865, 2008.

ROSAL, M. C. F & MONTENEGRO, S. M. G. L. Estudo Da Distribuição De Probabilidade Para Precipitações Máximas Na Bacia Do Rio Mundaú. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (DVD ROM), Maceió – AL. 27 de novembro a 01 de dezembro de 2010.

SALVADOR, M. A. Análise da variabilidade climática na nova fronteira agrícola do Brasil: região do Matopiba. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), 119. 2014.

SALVIANO, L. O., DEZAN, D. J., & YANAGIHARA, J. I. Optimization of winglet-type vortex generator positions and angles in plate-fin compact heat exchanger: response surface methodology and direct optimization. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 82, p.373-387, 2015.

SANT'ANNA NETO, J. L. Por uma Geografia do clima: antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. **Terra Livre**, v. 17, p. 49-62. 2001.

SANTIAGO, G. A. C. F. Impactos de cenários climáticos futuros na aptidão agroclimática da cana-de-açúcar na Zona da Mata de Pernambuco. 2015.

FERREIRA. et al. Avaliação da tendência espaço-temporal da precipitação pluviométrica em uma região semiárida do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

SANTOS. et al. Hidrometria Aplicada. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, p.372. 2001.

SAULO, C. A.; NICOLINI, M.; CHOU, S. C. Model characterization of the South America low-level flow during the 1997-1998 spring-summer season. **Climate Dynimacs**, v. 16, n. 10-11, p. 867-881, 2000.

SELUCHI, M. E., & MARENGO, J. A. Tropical–midlatitude exchange of air masses during summer and winter in South America: Climatic aspects and examples of intense events. **International Journal of Climatology**, v. 20, p 1167-1190. 2000.

SENA, J. P., NETO, J. M. M., & LUCENA, D. B. Variabilidade Da Precipitação Por Década E A Relação Com Os Eventos Extremos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20.2017.

SILVA NÓBREGA, R., SANTIAGO, C. F., & AYANE, G. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia Norte Grande**, v.63, p. 9-26, 2016.

SILVA. et al. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.1811–1820, 2009.

SILVA, E. R. A. C., GALVINCIO, J. D., NASCIMENTO, K. R. P., DE SANTANA, S. H. C., DE SOUZA, W. M., & de Oliveira Costa, V. S. Análise da tendência temporal da precipitação pluviométrica interanual e intra-anual no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018.

SILVA et al. Convecção linearmente organizada na área de Petrolina, semi-árido do Nordeste do Brasil: aspectos em meso e grande escala. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 292-304, 2008.

SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, V.C.L.; SILVA, L.P. Erosivity, surface runoff, and soil erosion estimation using GIS-coupled runoff-erosion model in the Mamuaba catchment, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**. Wageningen: Springer, v. 185, n. p. 8977-8990, 2013.

SILVA, V.P.R.; CORREIA, A.A.; COELHO, M.S. Análise de tendência das séries de precipitação pluvial do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.1, p.111- 114, 1998.

SILVA, W. L. Tendências Observadas e Projeções Futuras de Extremos Climáticos na Cidade do Rio de Janeiro. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Meteorologia. XVIII, 85 p. Rio de Janeiro, 2012.

SIRVINSKAS, L. P. **Manual de direito ambiental**. Editora Saraiva. 2018.

Skidmore, M. and Toya, H. Do natural Disasters Promote the Long Run Growth? *Economic Inquire*, vol 40(4), p.p. 664-687. 2005.

SOLOMON, S., et al., Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. 2007

- SOUZA, et al. Classificação da precipitação diária e impactos decorrentes dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 2, p. 250-268, 2012.
- SOUZA, E. C. A. M. D. Regime pluviométrico na bacia hidrográfica do rio Ivinhema-ms no período DE 1977 A 2006. 2013.
- SOUZA, E.; NOBRE, P. Uma revisão sobre o padrão de dipolo do Oceano Atlântico tropical, **Revista Brasileira de Meteorologia**, 13, 31-44, 1998.
- SOUZA, et al. Conflitos de interesses na pesquisa médico-farmacológica. **Revista Bioética**, v.21(2), p. 237-240. 2013.
- SOUZA, W. M; AZEVEDO, P. V. Índices de Detecção de Mudanças Climáticas Derivados da Precipitação Pluviométrica e das Temperaturas em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 01 (2012) 143-159, Recife, 2012.
- TANAJURA, C. A. S., et al. Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia: validação da simulação do clima presente do hadrm3p e comparação com os cenários a2 e b2 para 2070-2100. 2010.
- TARASOVA, T. A. et al. Impact of new Solar radiation parameterization in the Eta model on the simulation of summer climate over south America. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v.45, n.2, p.318-333, 2006.
- TOBIN, Graham A. **Natural hazards: explanation and integration**. Guilford Press, 1997.
- TORRES, Roger Rodrigues; FERREIRA, Nelson Jesus. Case studies of easterly wave disturbances over Northeast Brazil using the Eta Model. **Weather and Forecasting**, v. 26, n. 2, p. 225-235, 2011.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS, 943 p. 2009.
- VALENCIO, N.F.L.S. Chuvas no Brasil: representações e práticas sociais. Florianópolis. **Revista Política e Sociedade** v4, p. 163-183, 2005.
- VALVERDE BRAMBILA, M.C.; et al. Downscaling Estatístico para previsão de precipitação sobre o Sudeste do Brasil. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Anais..., 2004, Fortaleza: Ceará, 2004. Disponível em <<http://www.cbmet.com/cbm-files,22440906ab2eedfa87cfb99dea25eabff1.doc>> Acesso em 22 de Maio de 2018.
- VALVERDE, M. C.; MARENGO, J. A. Mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais do IPCC AR4. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 25, n. 1, p. 125-145, 2010.
- VAREJÃO- SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia. Recife, 2006. Disponível em: <<http://www.agsolve.com.br/pdf/artigos/sitio.pdf>> . Acesso em: 02/02/2018;.
- VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: INMET, Versão digital 2, p. 259-313 e 369-390. 2006.

VERNEKAR, A. D.; KIRTMAN, B. P.; FENNESSY, M. J. Low level jets and their effects on the South America summer climate as simulated by the NCEP Eta model. **Journal of Climate**, v. 16, n. 2, p. 297-311, 2003.

VEYRET, Yvette. Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. In: **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. 2007.

WALTHER, G.R.; et al. Ecological responses to recent climate change. **Nature**. International weekly journal of science. 2002.

WILBY, R. L.; WIGLEY, T. M. L. Downscaling general circulation model output: A review of methods and limitations. *Progress in Physical Geography*, v. 21, n. 4, p. 530-548, 1997.

XAVIER, R. A., DOS SANTOS MACIEL, J., & DE ALCÂNTARA SILVA, V. M. Análise espacial das chuvas na bacia do rio Taperoá, Região Semiárida da Paraíba (Spatial analysis of rainfall in the Taperoá river basin, semiarid region of Paraíba). **Revista Brasileira de Geografia Física**, 9(5), 1357-136, 2016.

XAVIER; XAVIER. **A Técnica dos quantis e suas aplicações em Meteorologia, Climatologia e Hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras**. Brasília: Thesaurus, 2002.

XAVIER, T. de Ma.B.S. & XAVIER, A.F.S. Classificação e Monitoração de Períodos Secos ou Chuvosos e Cálculo de Índices Pluviométricos para a Região Nordeste do Brasil, *Revista Brasileira de Engenharia - Caderno de Recursos Hídricos*, vol. 5, no. 2, p. 7-31, 1987.

Xavier, T. M. B. S.; Silva, J. F.; Rebello, E. R. G. A. **Técnica dos Quantis e suas aplicações em Meteorologia, Climatologia e Hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras**. Thesaurus Editora de Brasília Ltda. Brasília, p. 141. 2002.