



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIA HUMANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

ANA MÁRCIA MOURA DA COSTA

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL EM
BACIA HIDROGRÁFICA URBANA**

RECIFE

2021

ANA MÁRCIA MOURA DA COSTA

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL EM
BACIA HIDROGRÁFICA URBANA**

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

Área de concentração: Gestão e Políticas Ambientais.

Orientadora: Werônica Meira de Souza

RECIFE

2021

Catálogo na fonte
Bibliotecário Rodrigo Fernando Galvão de Siqueira, CRB4-1689

C837m Costa, Ana Márcia Moura da.
Mudanças climáticas e vulnerabilidade socioambiental em bacia hidrográfica urbana / Ana Márcia Moura da Costa. – 2021.
82 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Werônica Meira de Souza.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 2021.
Inclui referências.

1. Gestão ambiental. 2. Chuvas - Frequência da intensidade. 4. Desastres ambientais. 5. Solo urbano - Uso. I. Souza, Werônica Meira de (Orientadora). II. Título

363.7 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2021-124)

ANA MÁRCIA MOURA DA COSTA

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL EM
BACIA HIDROGRÁFICA URBANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.
Área de concentração: Gestão e Políticas Ambientais.

Aprovada em: 19/07/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof.ª Drª. Werônica Meira de Souza (Orientadora)
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

Prof.º Dr. Lucivânio Jatobá de Oliveira
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof.ª Dr. Valéria Sandra de Oliveira Costa
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Dr. Freds Fernando Alves de Almeida
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco - UFAPE

À minha família

Aos meus pais, Abel Santana da Costa e Carmelita Gomes Moura da Costa.

Às minhas irmãs Ana Cleide, Débora Moura e Dayane Moura,

Aos meus irmãos Davi Moura, José Moura e Daniel Moura,

Aos meus sobrinhos Davi Junior, Maykon Moura, Arthur Mota e Victor Moura,

A minha a sobrinha Emilly Maria,

A minha prima Cheila.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a papai do céu, por guiar meus passos em todos os momentos da minha difícil, porém feliz vida.

Aos meus pais, Abel Santana da Costa e Carmelita Gomes Moura da Costa, pela dedicação e compreensão. Agradeço por se esforçarem tanto para me dar a formação necessária para chegar onde estou.

A professora Dr^a. Werônica Meira, pelo acolhimento, cuidado, pela compreensão e atenção. Sua trajetória de vida, pautada na responsabilidade, honestidade, dedicação e no respeito mostra-nos o melhor caminho a seguir. Obrigada, professora!

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA pelos ensinamentos que tanto contribuíram e sempre contribuirão para a minha constante evolução acadêmica e profissional.

Enfim, a todos que incansavelmente torcem pelo meu sucesso e celebram comigo minhas conquistas.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES).

Muito obrigada!

RESUMO

Questões climáticas estão cada vez mais sendo noticiadas, seja em decorrência do aquecimento global ou por fortes chuvas que tendem a consequência de um desastre. Desse modo, é indispensável analisar tanto os sistemas atmosféricos quanto os fatores sociais e ambientais que os envolvem. O presente trabalho objetivou avaliar as mudanças da precipitação e seus cenários futuros, bem como o uso e ocupação do solo na escala espaço-temporal. Para isso, a metodologia baseou-se em etapas distintas para a análise da precipitação na escala espacial e temporal referente ao período de 1963 a 2019, bem como nas projeções dos cenários climáticos futuros de 2022 a 2099. Ainda, os procedimentos metodológicos usados para análise do uso e ocupação da terra, destacou-se o Manual Técnico do IBGE bem como as imagens de satélite provenientes da série de satélites Landsat de 1980 a 2019 obtidas no banco de dados do MapBiomas. Para calcular o índice de vulnerabilidade foi preciso fazer uso de duas fórmulas matemáticas e os dados para as para calcular foram adquiridos na base de dados do IBGE do último censo, sendo usadas as informações da Densidade Demográfica (DD), Renda per capita Média (RM), População Total (PT), condições de Habitabilidade (H) e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) das cidades de Camaragibe, Paulista, Olinda e Recife, cidades estas que comportam a bacia em estudo. Sendo assim, constatou-se que os meses mais chuvosos da bacia são entre abril e julho, sendo o mês de junho com precipitações mais elevadas. Ainda, a distribuição anual é superior a 1800 mm e os cenários climáticos futuros apresentaram variações tanto na precipitação como na temperatura nos modelos MIROC e HADGEM2-ES. A análise do uso e ocupação da terra apresentou-se satisfatória, pois foi possível observar espacialmente a área no decorrer da série histórica, evidenciando que houve um percentual considerável de crescimento da área urbana e uma diminuição da vegetação. Ainda, a determinação do índice de vulnerabilidade das cidades que a bacia está inserida, apresentou Olinda com o valor 1 (um) o mais alto do índice, seguida logo após pela cidade do Recife com 0,86. Desse modo, a área considerada com uma vulnerabilidade muito alta e alta equivale a 80% da área total da bacia.

Palavras-chave: Gestão ambiental; Chuvas – Frequência da intensidade; Desastres ambientais; Solo urbano.

ABSTRACT

Climate issues are increasingly being reported, whether as a result of global warming or heavy rains that tend to be the consequence of a disaster. Thus, it is essential to analyze both the atmospheric systems and the social and environmental factors that involve them. The present work aimed to evaluate changes in precipitation and its future scenarios, as well as land use and occupation in the spatiotemporal scale. For this, the methodology was based on different steps for the analysis of rainfall in the spatial and temporal scale for the period 1963 to 2019, as well as on projections of future climate scenarios from 2022 to 2099. Also, the methodological procedures used for analysis of land use and occupation, the IBGE's Technical Manual stood out, as well as the satellite images from the Landsat satellite series from 1900 to 2019 obtained from the MapBiomas database. To calculate the vulnerability index, it was necessary to use two mathematical formulas and the data for the calculation were acquired from the IBGE database of the last census, using information from Demographic Density (DD), Average Per capita Income (RM), Total Population (PT), Habitability Conditions (H) and the Municipal Human Development Index (IDHM) of the cities of Camaragibe, Paulista, Olinda and Recife, cities that comprise the basin under study. Thus, it was found that the wettest months in the basin are between April and July, with the month of June with the highest rainfall. Furthermore, the annual distribution is greater than 1800 mm and the future climate scenarios showed variations in both precipitation and temperature in the MIROC and HADGEM2-ES models. The analysis of land use and occupation was satisfactory, as it was possible to spatially observe the area throughout the historical series, showing that there was a considerable percentage of urban area growth and a decrease in vegetation. Still, the determination of the vulnerability index of the cities that the basin is inserted, presented Olinda with the value 1 (one) the highest of the index, followed shortly after by the city of Recife with 0.86. Thus, the area considered to have a very high and high vulnerability is equivalent to 80% of the total area of the basin.

Keywords: Environmental management; Rain - Frequency of intensity; Environmental disasters; Urban soil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Definições selecionadas de vulnerabilidade.....	26
Figura 1 - Efeito da urbanização no hidrograma da bacia hidrográfica	16
Figura 2 - Cenário dos desastres naturais em 2019	22
Figura 3 - Localização do Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos 1 – GL-1	31
Figura 4 - Localização da bacia hidrográfica do rio Beberibe	31
Figura 5 - Compartimentos hídricos da bacia hidrográfica do rio Beberibe	32
Figura 6 - Zona de Convergência Intertropical – ZCIT.....	35
Figura 7 - Imagem de satélite com a ocorrência de um Vórtice Ciclone	36
Figura 8 - Imagem de satélite com a ocorrência de uma Onda de Leste.....	37
Figura 9 - Uso e ocupação da terra da década de 1970	39
Figura 10 - Localização das estações pluviométricas de acordo com a Tabela 2	42
Figura 11 - Médias mensais da precipitação dos postos pluviométricos no GL-1	47
Figura 12 - Distribuição espacial da média da precipitação pluviométrica mensal do período de 1963 a 2019 da bacia hidrográfica do rio Beberibe.....	49
Figura 13 - Distribuição temporal da precipitação dos postos pluviométricos	51
Figura 14 - Distribuição espacial da precipitação pluviométrica do período de 1963 a 2019 da bacia hidrográfica do rio Beberibe	52
Figura 15 - Distribuição da média da precipitação pluviométrica decadal do período de 1963 a 2019 da bacia hidrográfica do rio Beberibe.....	54
Figura 16 - Cenários climáticos da precipitação pluviométrica para o ano de 2022 a 2099. (a) Recife, (b) Olinda, (c) Paulista e (d) Camaragibe	55
Figura 17 - Cenários climáticos da temperatura média para o ano de 2022 a 2099. (a) Recife, (b) Olinda, (c) Paulista e (d) Camaragibe.....	57
Figura 18 - Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Beberibe do ano de 1990...	60
Figura 19 - Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Beberibe do ano de 2000...	61

Figura 20 - Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Beberibe do ano de 2010...	62
Figura 21 - Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Beberibe do ano de 2019...	63
Figura 22 - (a) Distribuição espacial da população, (b) Densidade Demográfica.....	64
Figura 23 - (a) Distribuição espacial da Renda Média, (b) Condição de habitabilidade.....	65
Figura 24 - Distribuição espacial do IDHM (a), IDH-E (Educação) (b), IDH-R (Renda) (c) e IDH-L (Longevidade) (d)	66
Figura 25 - Distribuição espacial do índice de vulnerabilidade da bacia hidrográfica do rio Beberibe.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação dos postos pluviométricos do Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos-1	40
Tabela 2 - Relação dos postos pluviométricos selecionados e suas respectivas localizações e período de dados	41
Tabela 3 - Variáveis do IBGE a serem usadas no cálculo do Índice de vulnerabilidade	45
Tabela 4 - Quantificação das Classes Temáticas do ano de 1990, 2000, 2010 e 2019	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	14
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	Variabilidade climática e mudanças climáticas em bacias hidrográficas	15
2.2	Desastres associados aos eventos extremos de precipitação	19
2.3	Vulnerabilidades e riscos socioambientais em bacias hidrográficas	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1	Recorte espacial da pesquisa	30
3.2	Procedimentos metodológicos	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	Avaliação da distribuição espacial e temporal da precipitação na bacia do rio Beberibe e seus cenários climáticos futuros	46
4.2	Análise das transformações do uso e ocupação da terra da Bacia hidrográfica do rio Beberibe dos períodos de 1990, 2000, 2010 e 2019	59
4.3	Análise do índice de vulnerabilidade socioambiental da população	63
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
	REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas nos últimos anos vêm provocando alterações e impactos ao ambiente natural e social devido às ocupações irregulares em áreas urbanas, principalmente, nos centros de cidades com forte adensamento populacional. Essas ocupações alteraram, significativamente, a dinâmica processual da paisagem ocasionando desequilíbrios e, conseqüentemente, situações de risco e vulnerabilidade em áreas de várzeas e morros, após a chegada de um evento extremo de precipitação (BOTELHO, 2011; GUERRA, 2011).

Os eventos extremos mais comuns que ocorrem no Brasil estão relacionados com os eventos hidrológicos. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU) em 2018, dentre as 211 milhões de pessoas no Brasil, 87% residem em áreas urbanas, enquanto apenas 13% habitam em áreas rurais. O dado apontado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2019 indicou que o número de pessoas que vivem nas cidades dobrou desde a década de 1940.

O nível de concentração da ocupação urbana nas cidades brasileiras ocorreu de modo desordenado, não havendo planejamento adequado para habitação, resultando em diversos problemas ambientais, por exemplo, alagamentos em rodovias, acumulação de resíduos sólidos na rede drenagem, proliferações de doenças infecciosas, desmatamento das matas ciliares, entre outros. Os problemas ambientais afetam diretamente a sociedade durante os períodos chuvosos, expondo essas populações em situações de riscos e de vulnerabilidade (GUERRA, 2011; MOREIRA, 2014).

Conforme Magalhães (2013) para se considerar uma bacia hidrográfica como área de pesquisa e de planejamento urbano, primeiramente devem-se analisar os impactos da urbanização sobre a dinâmica natural da bacia, bem como a distribuição pluviométrica espacial e temporal.

Levando em consideração que a maior parte das bacias hidrográficas em áreas urbanas já se encontram consolidadas em virtude do seu processo histórico de ocupação, só resta avaliar os espaços restantes com o apoio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) com auxílio de programas e ferramentas e indicar se esses espaços estão hábitos para ocupação.

A região do Nordeste do Brasil, especificamente, o estado de Pernambuco tem enfrentado recorrentes problemas relacionados à variabilidade do clima, por exemplo, longos períodos de estiagens no interior do estado, e precipitações extremas em um curto espaço de tempo na Região Metropolitana do Recife (RMR) e na Zona da Mata (CEPED, 2010).

Os estudos climáticos atualmente se mostram relevantes quando são relacionados com aspectos sociais e ambientais, conforme os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Pois às mudanças espaciais e temporais de precipitação são de suma importância para entender a dinâmica atmosférica bem como as mudanças climáticas.

Dessa maneira, a variabilidade climática tem apresentado uma imensa relevância na análise do comportamento de eventos extremos, apresentadas nas projeções climáticas, com relação direta na disponibilidade hídrica, e de outros aspectos do contexto de recursos hídricos e da manutenção social.

Ainda, em relação os modelos climáticos globais e regionais, estes têm apresentados grandes avanços nos últimos anos em termos da representação de processos e fenômenos críticos para estudo das mudanças climáticas globais, seus impactos sobre o Brasil e ações de mitigação, em virtude do aumento da resolução espacial e das novas geotecnologias aplicadas.

O Brasil tem se destacado nesta área, através do desenvolvimento de modelos atmosféricos globais e regionais, a exemplo dos modelos atmosféricos globais do INPE/CPTEC e do modelo regional ETA. Os cenários climáticos gerados a partir do modelo climático regional Eta configura-se na resolução de 20 km, na área que cobre a América do Sul, a América Central e o Caribe. Os modelos climáticos globais disponíveis são: HadGEM2-ES; MIROC5 e CanESM2 (CHOU, 2012).

Sendo assim, a bacia hidrográfica do rio Beberibe (BHRB), objeto de estudo dessa pesquisa, localizada na RMR, apresentando um histórico recorrente de eventos pluviométricos intensos que ocasionam deslizamentos de terra, enchentes e inundações.

Dessa forma, os estudos na BHRB se mostram pertinentes, visto que essa área comporta importantes cidades e bairros da RMR que apresentam intensa ocupação de moradias em áreas ribeirinhas e em áreas de morros e que não apresentam estudos socioambientais recentes com geotecnologias aplicadas na análise do uso do solo bem como aos aspectos físicos.

Além disso, a BHRB é uma importante fonte de recurso hídrico superficial para o desenvolvimento de atividades econômicas diversas, por exemplo, irrigação de lavouras as margens dos rios, consumo da água para moradores que residem no alto curso da bacia, além de pontos estratégicos para navegação (CAMPOS, 2003; CPRH,2018).

Nesse contexto, a presente pesquisa almeja responder o seguinte questionamento: Em que medida a inexistência de uma política de uso e ocupação do território tem interferido na adoção de estratégias pelo poder público que amenize os efeitos advindos dos eventos extremos de precipitação sobre as populações vulneráveis da bacia hidrográfica do rio Beberibe.

A principal hipótese dessa pesquisa centra-se na premissa de que as populações que residem na bacia hidrográfica do rio Beberibe se encontram em situação de vulnerabilidade socioambiental. Tal processo de vulnerabilidade ocorre, sobretudo, devido à incidência de eventos extremos em áreas ribeirinhas e de morros, que em sua maioria, apresentam ocupações irregulares no espaço e uso inadequado do solo.

1.1 Objetivos

Geral

Analisar as mudanças da precipitação espaço-temporal e a vulnerabilidade da população na bacia hidrográfica do rio Beberibe em Pernambuco.

Específicos

- Avaliar a distribuição espacial e temporal da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Beberibe em Pernambuco;
- Gerar cenários climáticos para as variáveis precipitação pluviométrica e temperatura média do ar no período de 2022 a 2099 para a bacia;
- Identificar as mudanças do uso e ocupação da terra;
- Determinar o índice vulnerabilidade socioambiental da população.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A pesquisa científica carece de uma fundamentação teórica relacionada com o seu propósito, na qual se busca o entendimento sobre a problemática que envolve a especificidade do estudo.

Dessa forma, a revisão literária serve de suporte teórico para pesquisa, desde a coleta de informações até as interpretações e análise dos resultados. Na busca deste embasamento, direciona-se a revisão da literatura para as questões principais que serão adotadas como bases conceituais no decorrer deste trabalho, as quais estão contextualizadas a seguir.

2.1 Variabilidade climática e mudanças climáticas em bacias hidrográficas

Uma bacia hidrográfica consiste em uma região de captação natural da água da chuva que tende a conduzir os escoamentos superficiais a um único ponto de saída, também conhecido como exutório. Uma bacia hidrográfica pode apresentar uma variabilidade espacial e temporal de precipitação pluviométrica, especialmente, devido à expansão territorial e aos aspectos morfológicos, além do posicionamento latitudinal geográfico e a influência direta dos sistemas atmosféricos (TUCCI; SILVEIRA, 2009; SANTOS et. al., 2011; PINTO et al., 2014).

Segundo Santos (2013) a região Nordeste do Brasil possui diferentes sistemas atmosféricos relacionados com o processo de precipitação, por exemplo, o fenômeno *El Niño*, *La Niña*, a Oscilação Sul no Oceano Pacífico e o Padrão de Dipolo no Oceano Atlântico. Nesta região, além dos fenômenos apresentados anteriormente, podemos destacar alguns sistemas secundários de precipitação que influenciam diretamente para os episódios de chuva, como por exemplo, a Zona de Convergência Intertropical, Zona de Convergência do Atlântico Sul, Vórtices Ciclônicos e Ar Superior, Ondas de Leste e as Brisas Marinhas e Terrestres (SOUZA, 2011).

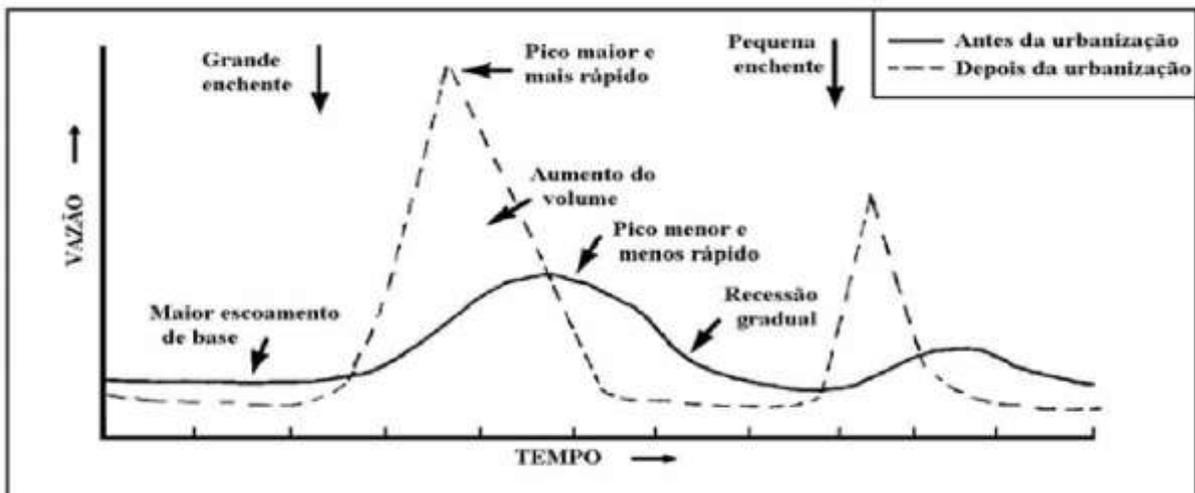
No final do século XX o conceito de bacia hidrográfica, de acordo com Christofolletti (1980), era definido como um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados ou uma área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial. A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997, integra os princípios e as regras de gestão dos recursos hídricos, reconhecendo o conceito de bacias hidrográficas como unidade de estudo, gestão e planejamento. Sendo assim, diversas definições de bacia hidrográfica foram formuladas ao longo do tempo (LIMA E ZAKIA, 2000; ANTONELLI E THOMAZ, 2007).

Estes autores, destacam ainda que, o conceito de bacia hidrográfica sobre um recorte espacial, tendo como base a premissa que uma bacia se encontra diretamente ligada a uma rede de drenagem. Dessa forma, os conceitos que envolvem as subdivisões da bacia hidrográfica apresentam abordagens diferentes e influências distintas que vão do físico ao ecológico e do social ao urbano.

Além disso, as bacias hidrográficas em áreas urbanas são marcadas pela diminuição do tempo de concentração de suas águas e pelo aumento dos picos das cheias, quando comparadas às condições anteriores à urbanização (Figura 1).

Nas áreas urbanas, toda essa diversidade de caminhos da água do sistema natural é reduzida ao binômio escoamento e infiltração, com maior participação do primeiro. Devido à substituição da cobertura natural por novos elementos adicionados pelas sociedades urbanas, como a pavimentação, comprometendo o processo de infiltração, e favorecendo o escoamento superficial, que atingem os exutórios mais rapidamente e de forma mais concentrada, causando o aumento da intensidade e a frequência de enchentes e mesmo inundações nos centros urbanos (TUCCI, 1997; BOTELHO, 2011).

Figura 1 - Efeito da urbanização no hidrograma da bacia hidrográfica



Fonte: Schueler, 1987.

Antes do processo de urbanização de acordo com Tucci (2005) as inundações nas várzeas eram um processo natural e frequente no período chuvoso, e a precipitação espacial e temporal, juntamente com o escoamento superficial, ocorria na bacia de forma irregular—em virtude do desempenho natural do rio em conformidade com os processos climáticos locais e regionais.

De acordo com Albuquerque (2012), a bacia hidrográfica é a unidade territorial ideal para a gestão ambiental e a ação antrópica, pois permite a avaliação integrada da paisagem. Dessa

forma, a bacia hidrográfica não pode adotar o conceito clássico que a determina, visto que essa unidade é considerada básica para o planejamento e a gestão, pois relaciona os elementos biológicos, físicos, geográficos, sociais e políticos que interagem entre si, modificando todo o sistema dinâmico que comporta a bacia (SANTOS, 2004).

A avaliação dos dados históricos da pluviometria em uma bacia hidrográfica é um dos métodos para se apontar a mudança do clima local, permitindo elaborar um parecer futuro das consequências que essas mudanças podem vir a ter sobre as bacias hidrográficas e consequentemente, sobre a sociedade (SANTOS et al., 2009).

Segundo Santos, Griebeler e Oliveiralfc (2011), entender o dinamismo espacial e temporal da precipitação e do clima e os fatores de influência são de fundamental importância, visto que isso pode vir a auxiliar no planejamento e na gestão dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas em virtude da variabilidade climática.

Desse modo, o termo variabilidade climática é empregado para caracterizar as mudanças do clima em função dos fatores naturais do planeta e suas interações. Já as mudanças climáticas seriam as alterações na variabilidade natural do clima em razão das atividades antrópicas (SANTOS, 2006).

Para Smith (2010), variabilidade climática se trata das variações em escalas temporais, enquanto a mudança climática discute as modificações climáticas ao longo do tempo.

A organização Mundial de Meteorologia (OMM), no ano de 1988, criou o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) que tem como objetivo implantado a elaboração de relatórios com descrição de diagnóstico e previsão do clima global (MARENGO, 2009).

O IPCC conceitua mudança climática da seguinte forma:

Mudança climática refere-se a uma variação estatisticamente significativa nas condições médias do clima ou em sua variabilidade, que persiste por um longo período – geralmente décadas ou mais. Pode advir de processos naturais internos ou de forçamentos naturais externos, ou ainda de mudanças antropogênicas persistentes na composição da atmosfera ou no uso do solo. (IPCC, 2001).

O relatório do IPCC de 2007 afirma que no século XX houve um aumento de 0,65°C na média da temperatura global. Para a precipitação, o aumento variou de 0,2% a 0,3% na região tropical, cujas origens desse aumento podem ser de circunstância natural ou antrópica ou, ainda, uma soma das duas.

Segundo o *World Meteorological Organization* (WMO, 2016), a mudança climática pode ser determinada pelas variações estatisticamente expressivas, ou seja, no estado médio do clima e em suas variações, persistindo por um período extenso. A Organização Mundial de

Meteorologia aconselha um período de no mínimo 30 anos de dados para determinar uma adequada caracterização climática de uma área (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Neste contexto, as discussões sobre mudanças climáticas nunca se apresentaram tão necessárias como nos últimos anos, visto que as precipitações e a temperatura em todo planeta tem variado. A exposição atual da sociedade frente aos eventos climáticos extremos se mostra preocupante, mas avaliar esta condição frente a situação climática futura é ainda mais.

Estima-se, de acordo com o IPCC (2013), que em 2100 a temperatura global aumentará mais de 1° C e, como consequência, o nível médio do mar poderá atingir elevação de 18 a 79 cm. Essa avaliação futura só é possível graças ao uso de uma série de técnicas e ferramentas, que tem como meta a construção de cenários por meio da utilização de modelos climáticos (MMA, 2015).

Portanto, entender a variabilidade climática em escalas interanuais e interdecadais é indispensável, visto que é preciso separar as mudanças climáticas antrópicas das oscilações climáticas naturais, já que a variabilidade se relaciona com as variações do estado médio e de outras estatísticas nas várias escalas temporais, enquanto a mudança climática se refere à alteração climática ao longo do tempo (SMITH, 2010; ALMEIDA; REBELLO; AMBRIZZI, 2010).

De acordo com Nobre (2005), as avaliações da pluviometria em relação aos Modelos Climáticos Globais (MCGs) divergem nas diferentes áreas geográficas. Desse modo, interferindo na previsibilidade e na confiança dos resultados obtidos para essa variável.

Ainda, os MCGs são baseados nos princípios físicos gerais da dinâmica dos fluidos e termodinâmica. Além disso, os modelos apresentam interações entre os componentes do sistema climático global; a atmosfera, os oceanos e uma descrição básica da superfície da terra. Estes se diferem dos modelos climáticos regionais (RCM) que apresentam maior resolução numa área limitada.

Os modelos regionais de clima, temos, por exemplo os modelos CNRM-CM5, ICHEC-EC-EARTH, IPSLCM5A-MR, HadGEM2-ES, MPI-ESM-LR. Dois RCM (os modelos CCLM e RCA4) foram forçados com três GCMs diferentes, disponibilizando informação desde 1971 até ao final do século XXI (CHOU, 2012).

Modelos climáticos globais e regionais têm tido grandes avanços nos últimos anos em termos da representação de processos e fenômenos críticos para estudo das mudanças climáticas globais, seus impactos sobre o Brasil e ações de mitigação.

O Brasil tem se destacado nesta área, através do desenvolvimento de modelos atmosféricos globais e regionais, a exemplo dos modelos atmosféricos globais do INPE/CPTEC e do modelo regional Eta (CHOU, 2014).

De acordo com Lyra et al. (2017) o modelo regional Eta está em constante desenvolvimento. Pois, pretende-se melhorar seu detalhamento, atingindo uma escala local em resolução, obtendo isto a partir da versão não-hidrostática na resolução horizontal de 5 km do modelo.

Esses modelos realizam a simulação dos possíveis cenários de desenvolvimento do clima, bem como para emissões de gases de efeito estufa. Além disso, os cenários de emissão representam uma visão possível do desenvolvimento futuro dos países, baseados numa combinação coerente entre a economia sustentável e a demografia (MARENGO, 2006; NOBRE, 2005).

Desse modo, as mudanças climáticas, a variabilidade do clima e os eventos de precipitação extrema têm afetado seriamente o Brasil durante as últimas décadas. Carvalho, Jones e Liebmann (2004) e Marengo (2009) analisaram a variabilidade do clima no Brasil ao longo de seus estudos climáticos e indicaram que dependendo da região estudada, a mesma pode apresentar resultados de mudanças sobre o clima de forma contínua ou em ciclos definidos por elementos meteorológicos, como a temperatura e a precipitação.

Ainda de acordo com esses autores, houve um crescimento sistemático da precipitação desde os anos de 1950, e um aumento nas ocorrências dos eventos extremos ligados a variabilidade interanual relacionados com os fenômenos *El Niño*, *La Niña*, e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Assim, os eventos climáticos extremos são um fator associado à variabilidade climática e sua frequência e intensidade variam de acordo com a mudança climática.

2.2 Desastres associados aos eventos extremos de precipitação

Nas últimas décadas os eventos extremos de precipitação têm se tornando cada vez mais frequentes e vêm afetando diferentes regiões e cidades brasileiras, ocasionando impactos diretos e indiretos à sociedade e ao meio ambiente. A ocorrência de um evento extremo em áreas vulneráveis ou de risco pode-se transformar em um desastre natural. A interação com atividades humanas descompromissadas (não-sustentáveis) com a possibilidade e ocorrência histórica dos eventos extremos (LOUREIRO et al., 2014).

De acordo com Marcelino (2008) e Tominaga (2009), os desastres naturais podem ser provocados por inúmeros fenômenos, como terremotos, tornados, furacões, tempestades e estiagens, e tendem a ser agravados quando se levam em conta as mudanças climáticas. Contudo, algumas perspectivas ainda indicam que os desastres não estão somente relacionados à questão do clima, mas também aos fatores sociais, econômicos e políticos (SANTOS; SOUZA, 2006).

Em seus estudos Tominaga (2009) também aponta o conceito de desastre natural que é adotado pela *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* (UN-ISDR, 2009) como sendo:

“Uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade envolvendo perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais de grande extensão, cujos impactos excedem a capacidade da comunidade ou da sociedade afetada de arcar com seus próprios recursos”.

Segundo Monteiro (1991) e Castro (1996) os desastres naturais são resultados de eventos antagônicos, espontâneos ou ocasionados pela ação humana, como é o caso das enchentes, inundações e deslizamentos nas cidades, onde as áreas ribeirinhas e declivosas são intensamente ocupadas por uma parte da sociedade economicamente vulnerável (IBGE, 2010).

De acordo com Vicente (2004), um desastre natural é compreendido como instável, apresentando divergência entre os sistemas naturais e sociais, pois a ocorrência de um desastre depende da interação dos extremos naturais e do sistema social. Para Smith (1997), os prejuízos relativos aos desastres de forma geral, possuem maiores perdas de vidas em países subdesenvolvidos e em países desenvolvidos ocorrem mais danos econômicos.

Os desastres naturais que ocorrem no Brasil, na maioria dos casos estão diretamente associados aos eventos extremos de precipitação de curto prazo, os quais estão relacionados com o tempo, além dos eventos de médio prazo que estão relacionados com o clima. O Brasil se destaca entre os países que mais possuem população afetada por desastres naturais, sendo por inundações e deslizamentos de terra. Esses são os principais causadores dos desastres naturais no território nacional. Dessa maneira, quando ocorre um evento de precipitação extrema, há potencial para acarretar um desastre natural de pequena a grande magnitude (MARENGO, 2009).

No ano de 1988, o Centro de Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres (*Centre for Research on the Epidemiology of Disasters*) (CRED) lançou o Banco de Dados de Eventos de Emergência (*Emergency Events Database*) (EM-DAT), plataforma de informações obtidas de diversas fontes sobre a ocorrência e efeitos de desastres naturais.

Dentre essas fontes, destacam-se os dados fornecidos por agências das Nações Unidas, organizações não governamentais, companhias de seguros, institutos de pesquisa e agências de

notícias com informações desde 1900 até os dias atuais. Segundo Jha, Bloch e Lamond (2012), dentre todos os desastres naturais existentes, os episódios de inundações são os mais frequentes e esse tem aumentado significativamente ano após ano.

Em meados do século XIX, a Europa Central começou o processo das retificações de rios, cujas consequências negativas não podiam ainda ser avaliadas para o futuro. Hoje é sabido que os efeitos das intervenções radicais nos rios consistem, além da depreciação da paisagem e da intervenção na estabilidade ecológica, sobretudo na perda de espaços de retenção, na concentração do deflúvio e na elevação das águas, num incremento adicional do transporte de sedimentos, com a consequência de maior aprofundamento da calha e na destruição das margens dos rios (RIGHETTO, 2005; BOTELHO, 2011).

Com o crescimento da população mundial nos últimos 50 anos e a ocupação intensa dos espaços urbanos, os cuidados e a proteção contra deslizamentos de terra, enchentes e inundações se tornaram cada vez maiores. Mas, a concepção tradicional de obras de proteção e/ou controle de cheias não foi tão eficiente (TUCCI, 2000; RIGHETTO, 2005). Em 2010, 178 milhões de pessoas foram afetadas por inundações. As perdas somadas em anos excepcionais como 1988 e 2010 excederam \$ 40 bilhões (JHA, BLOCH e LAMOND, 2012).

Em 1988 e 1991, um evento extremo de precipitação ocasionou inundações em Bangladesh, essas foram responsáveis por 140.000 perdas humanas. Já o fenômeno causado em 1993, no rio Mississippi (EUA), traz consigo dúvidas, se esses podem ser controlados ou amenizados. Os últimos acontecimentos do rio Emme e do rio Reno dão uma ideia dos problemas gerados pelas obras de controle e contenção de enchentes e inundações realizadas (MÜNCHENER, 1997).

As inundações em Bangladesh passaram a ser tema de uma discussão universal após a catástrofe de 1988, em que 46% do território foi inundado e 2.500 pessoas morreram e 30 milhões de pessoas foram temporariamente deslocadas de suas moradias. Ressalta-se que as inundações em Bangladesh estão fortemente relacionadas a sua localização, pois ocupa as planícies cortadas pelos rios Ganges e Bramaputra, constituindo-se, portanto, em um mega estuário. Ademais, estando sujeito à passagem constante de ciclones tropicais, incursões de monções de verão, adicionando-se a baixa qualidade de vida da população e a carência de um sistema de saneamento adequado, tais fatores contribuem fortemente para tais quadros desastrosos no país (RIGHETTO, 2005).

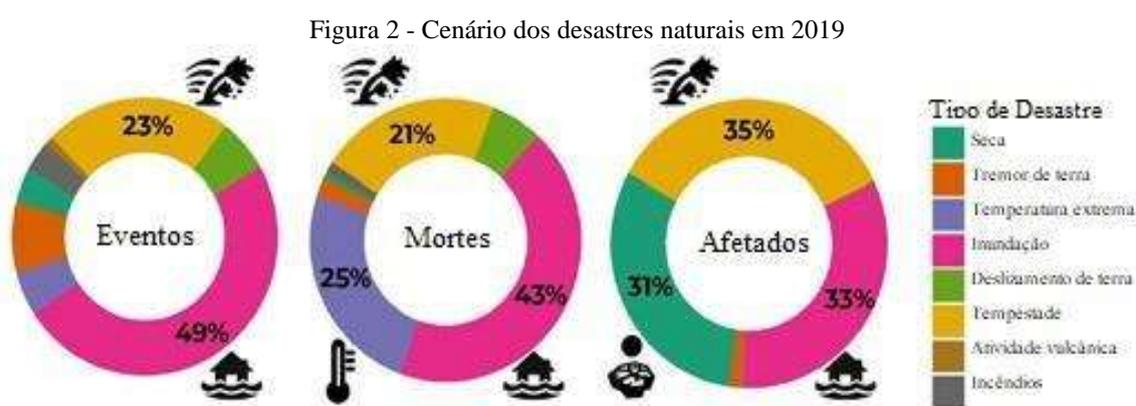
Na Europa as inundações do rio Reno, ocorridas em dezembro de 1993 e dezembro de 1995, retomaram a discussão acerca das consequências desses fenômenos, que resultaram em perdas materiais e, eventualmente, de vidas humanas. As alternativas apresentadas se baseiam

essencialmente na devolução de várzeas de inundação ao rio, para que se disponha ao longo do seu curso de espaços suficientemente extensos para a retenção de volumes excessivos de água. O problema maior para a viabilização dessas medidas é que tanto os estados alemães, como os departamentos franceses, reservaram áreas mínimas para retenção de enchentes no decorrer das margens de rio, pois algumas comunidades ribeirinhas se omitem ou se opõem à execução de medidas razoáveis de controle de enchentes devido à necessidade de recolocação de suas moradias (MÜNCHENER, 1997; RIGHETTO, 2005).

Outros países apresentaram danos na economia devido a esse evento. A Áustria teve uma perda econômica estimada em US\$ 3 bilhões e a República Tcheca de US\$ 2 bilhões. Um dos países mais afetados por inundações é a China, que perdeu US\$ 40 bilhões entre os anos 1991 e 1996. Além disso, milhares de casas foram arruinadas e foram registrados 7.238 óbitos em todo o território (RIGHETTO; MENDIONDO, 2004).

De acordo com o relatório de 2019 do EM-DAT (2019), as inundações afetaram mais pessoas do que qualquer outro tipo de desastre natural. Só em 2019, pelo menos 396 desastres naturais foram relatados no EM-DAT, matando mais de 11 mil pessoas e afetando 95 milhões e custando quase US\$ 130 bilhões.

A nível regional, a Ásia foi o continente mais vulnerável do planeta, com 40% de todos os eventos de desastre, representando 45% do total de mortes e 74% das pessoas afetadas por desastres no mundo (EM-DAT, 2020). O cenário dos desastres naturais em âmbito mundial em 2019 pode ser visto na Figura 2.



Fonte: EM-DAT (2020).

As 195 ocorrências de inundações em 2019 registraram um número superior a 5 mil óbitos e mais de 31 milhões de pessoas afetadas, considerando números maiores que do ano de 2018 (EM-DAT, 2019; EM-DAT, 2020).

No EM- DAT, o Brasil também é classificado como um dos países mais afetados por inundações. O país apresenta estatísticas históricas de desastres causados por inundações e enchentes, da década de 1940 até 2008. Para Marcelino (2007), as inundações no Brasil representam cerca de 60% dos desastres naturais ocorridos no século XX.

No relatório anual de estatísticas de desastres da OFDA/CRED do ano de 2008, o Brasil estava ocupando o 10º lugar entre os países com maior número de vítimas relacionadas aos desastres naturais. Foram registradas mais de 1,8 milhões de pessoas, todas afetadas por desastres hidrológicos que incluem inundações, enchentes e movimentos de massa (VOS, 2010).

O Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (UFSC, 2013) apresenta um panorama comparativo do número de desastres naturais ocorridos no país nas décadas de 1990 e de 2000, onde aponta um crescimento das ocorrências de eventos extremos da última década. Os eventos de inundações tiveram um aumento significativo da década de 90 para a de 2000, tendo em vista um aumento de 60% em comparação à primeira década.

Ainda segundo o Atlas, os eventos de inundações no período de 1991 a 2012 afetaram mais de 41 milhões de pessoas, assumindo o segundo lugar na categoria de desastre que mais afeta a população brasileira, atrás apenas da seca/estiagem.

Em 2010 e 2011 o Brasil apresentou um alto índice pluviométrico em diversas cidades das regiões Sul, Sudeste e Nordeste. Os estados que se destacaram foram Santa Catarina, São Paulo, Rio de Janeiro, Alagoas e Pernambuco, tendo levado a algumas cidades desses estados a decretação de emergência ou estado de calamidade pública em consequência das áreas atingidas por movimentos de terras, enchentes e inundações, ocasionando perdas de vidas humanas e de patrimônio público e privado (UFSC, 2013).

A região Nordeste (NE) é conhecida nacionalmente por seus períodos de estiagem prolongada que assolam as comunidades que sofrem com a falta de água. Todavia, especificamente os estados de Pernambuco e Alagoas sofreram no ano de 2010 com fortes chuvas, no mês de junho, que a caracterizou como a pior temporada chuvosa da década, deixando inúmeros municípios em situação de emergência e estado de calamidade pública (CEPED, 2010; UFSC, 2013).

Em Pernambuco, 67 municípios da Região Metropolitana, Agreste e Zona da Mata, decretaram situação de emergência e calamidade pública, tendo em vista que as fortes chuvas proporcionarão ondas em alta velocidade e com alto poder de destruição, derrubando casas, hospitais, prédios da administração pública, escolas, estabelecimentos comerciais, pontes, estradas e outros equipamentos. As áreas mais devastadas por esse evento se encontram às

margens do rio Jaboatão e do rio Una, na Zona da Mata Sul, aonde chegou a destruir cidades como Palmares-PE e Barreiros-PE. Esses municípios foram afetados pelo fenômeno meteorológico de onda de leste, caracterizado por uma conjunção de ventos fortes do oceano em direção ao interior do estado (CEPED, 2010).

Em 2010 as inundações do mês de junho marcaram o estado de Pernambuco, mas não foi um evento isolado. Nos últimos anos, os sistemas atmosféricos *La Niña*, Zona de Convergência Intertropical, Vórtices Ciclones de Altos Níveis e Distúrbios Ondulatórios de Leste (ou Ondas de Leste) têm causado um aumento na precipitação em todo território pernambucano, principalmente da Região Metropolitana do Recife (OLIVEIRA et al., 2011).

Segundo Pinheiro (2007), a realização de estudos climáticos é essencial para guiar processos decisórios sobre medidas estruturais na determinação de cotas de risco e no tempo de retorno, que é imprescindível e deve ser executada de forma sistemática nos municípios que enfrentam problemas hídricos.

As ações voltadas à gestão dos problemas geoambientais e de desastres naturais requerem intenso planejamento territorial, organização institucional e participação da comunidade. Essas ações devem contemplar metas que respondam às diversas situações antes, durante e após os eventos de inundações, enchentes, deslizamento de terra e secas. Para que possa alcançar maior eficiência e eficácia, essas questões devem estar intrinsecamente ligadas à legislação e às políticas públicas (TUCCI, 1997; PINHEIRO, 2007).

2.3 Vulnerabilidades e riscos socioambientais em bacias hidrográficas

A intensidade que o impacto causado por um evento extremo atinge as comunidades humanas depende, essencialmente, de quão vulneráveis elas estão (KATES, 2000). De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (2015), os desastres naturais mais frequentes (inundações, deslizamento, estiagens) vêm afetando uma parcela da sociedade em particular, especificamente populações economicamente desfavorecidas e que residem em lugares inadequados para habitação. Mas, os desastres naturais não se limitam a esse grupo social específico, sua magnitude e intensidade vão além do que se pode idealizar (TOMINAGA, 2009).

Os desastres naturais estão relacionados aos termos risco, vulnerabilidade e perigo, entre outros. De acordo com Marcelino et.al. (2005), o perigo (*hazard*) significaria a forma que o evento ocorre, naturalmente ou podendo ser induzido pelo homem. A vulnerabilidade (*vulnerability*) é considerada a expansão dos danos de uma área afetada por um perigo,

dependendo das condições sociais e econômicas. E por fim, o risco (*risk*) seria a probabilidade da ocorrência de um perigo, podendo ser por ação natural ou antrópica e incluindo a análise humana dos efeitos gerados no meio ambiente e na sociedade. Sendo assim, pode-se dizer que o risco está diretamente relacionado com o perigo e a vulnerabilidade (CASTRO, 2000; CASTRO et al., 2005; MARCELINO; NUNES; KOBİYAMA, 2006).

Segundo Rahn (1986), o risco é descrito como as perdas esperadas e calculadas a partir da extrapolação de dados estatísticos coletados sobre os danos causados por um evento. Para Cardona (2001), o risco é a probabilidade de exercer níveis de consequências econômicas, sociais e ambientais em certo local durante certo tempo. Já para Kron e Thumerer (2002), o risco é resultado do produto entre ameaça, exposição e vulnerabilidade. Para o IBGE (2005), o risco é o produto de perigo e vulnerabilidade.

A definição do conceito de risco tem variado com o tempo, para Guerra et. al. (2005) afirma que risco é uma terminologia empregada para caracterizar eventos causados por forças da natureza, mas que podem ser potencializados pela ação humana. Bitar (2014) apresenta a definição temporal de risco como sendo uma medida da ameaça e dos efeitos, sejam financeiros ou na saúde, podendo resultar perda de vidas em consequência de um evento ou desastre ambiental em um dado espaço de tempo.

Conforme Westen, Van Asch e Soeters (2006), um dos melhores conceitos indicados para o risco é o proporcionado por Vames em 1984, que conceitua como resultante do número previsto de vidas perdidas, de pessoas feridas e de desestabilização de atividades financeiras.

Como descrito por Marandola e Hogan (2006), para entender o conceito de vulnerabilidade, nos diversos segmentos científicos, é necessário considerar ao mesmo tempo o conceito de risco, pois o termo vulnerabilidade foi tratado, primeiramente, nos estudos sobre risco em sua dimensão ambiental e, posteriormente, no contexto socioeconômico.

O termo vulnerabilidade no debate ambiental está relacionado aos estudos sobre os riscos, especialmente pelo crescimento do interesse e preocupação com a sociedade que vive em situação vulnerável. De acordo com Prates e Amorim (2017), desastres naturais combinados a fatores socioeconômicos expõem as populações a riscos, sobretudo, em áreas urbanas sem planejamento e infraestrutura.

Um estudo realizado por Ultramari e Hummell em 2010 na região Sul do Brasil sobre vulnerabilidade socioambiental, a partir das ocorrências de acidentes naturais e valores de Índice de Desenvolvimento Humano por município, indicou que as áreas com fragilidade física e ambiental coincidem com as sociedades de maior vulnerabilidade socioeconômica.

Segundo o IPCC (2014), o aumento dos eventos extremos de chuva na região Sudeste resultou consideravelmente no agravamento da situação de vulnerabilidade da população, visto que as mudanças climáticas estão alterando a distribuição temporal da ocorrência dos eventos de precipitação (ZILLI et al., 2017).

No século XX se percebe que houve um aumento significativo da vulnerabilidade humana em virtude dos desastres naturais. Em 1970 as pesquisas para compreensão da vulnerabilidade foram complexas e assumiram várias perspectivas de investigação, especificamente a ambiental, que começou a analisar as condições humanas de habitação e de infraestrutura em seu conceito (PARK, 1991). De acordo com Zhang e You (2014), o conceito de vulnerabilidade após a década de 70 progrediu em defesa das condições humanas, tendo como fator considerado o social e o econômico, dando início a uma nova perspectiva sobre a vulnerabilidade social.

Desde os anos 1980 e 1990, o conceito de vulnerabilidade foi discutido em diversos países e em diversas áreas do conhecimento científico. A vulnerabilidade está associada à realidade cultural, social, econômica, ecológica, tecnológica, ambiental, entre outras, como aponta Cutter (1996). Em suas pesquisas, o mesmo autor sistematizou acerca do progresso do conceito de vulnerabilidade, apresentando a multidimensionalidade desse termo (Quadro 1), tendo uma tradução do idioma original e a inserção de novos autores atualizados por Prates (2019).

Quadro 1 - Definições selecionadas de vulnerabilidade

Vulnerabilidade	Fonte
É a ameaça (ao perigo material) ao qual as pessoas estão expostas (incluindo agentes químicos e a situação ecológica da comunidade e o seu nível de preparo para emergência). Vulnerabilidade é o contexto do risco.	Gabor e Griffith (1980)
É o grau a que um sistema age adversamente à ocorrência de um evento perigoso. O grau e a qualidade da reação adversa são condicionados por um sistema de resiliência (uma medida da capacidade do sistema de absorver e de se recuperar do evento).	Timmerman (1981)
É o grau de perda para um dado elemento ou conjunto de elementos em risco resultante da ocorrência de fenômenos naturais de uma dada magnitude.	UNDRO (1982)
É o grau ao qual diferentes classes são diferentes em situação de risco.	Susman et al. (1984)
É a capacidade de sofrer danos e reagir adversamente.	Kates (1985)
É a ameaça ou interação entre risco e preparação. É o grau a que materiais perigosos ameaçam uma população particular (risco) e a capacidade da comunidade de reduzir o risco ou consequências adversas do lançamento de materiais perigosos.	Pijawka e Radw

	an (1985)
É operacionalmente definida como a incapacidade de tomar medidas efetivas contra perdas. Quando aplicada a indivíduos, a vulnerabilidade é a consequência da impossibilidade ou da improbabilidade de efetiva mitigação e é uma função da nossa capacidade para detectar o perigo.	Bogard (1989)
É o potencial para perdas.	Mitchell (1989)
Distingue a vulnerabilidade como uma condição biofísica da vulnerabilidade definida pelas condições políticas, sociais e econômicas da sociedade. A autora defende a vulnerabilidade no espaço geográfico (onde a pessoa vulnerável e o lugar estão localizados) e a vulnerabilidade no espaço social (quem é vulnerável naquele espaço).	Liverman (1990)
Vulnerabilidade tem três conotações: refere a uma consequência (p. ex. fome) ao invés da causa (p. ex. secas); implica em uma consequência adversa (p. ex. a produtividade do milho é sensível à seca; domicílios são vulneráveis à fome); e a diferença entre grupos socioeconômicos ou regiões é uma medida relativa ao invés de uma medida absoluta de privação.	Downing (1991)
É a capacidade diferenciada de grupos e indivíduos para lidar com o perigo, com base em sua posição em um mundo físico e social.	Dow (1992)
Risco de um perigo específico varia através do tempo e de acordo com mudança em uma (ou ambas): exposição física ou vulnerabilidade humana (a amplitude da tolerância social e econômica disponíveis no mesmo lugar).	Smith (1992)
Vulnerabilidade humana é uma função dos custos e benefícios de habitar áreas de risco ao desastre natural.	Alexander (1993)
É a probabilidade de indivíduo ou grupo ser exposto e afetado adversamente por um perigo. É a interação do perigo do lugar (risco e mitigação) com o perfil social da comunidade.	Cutter (1993)
É definida em termos de exposição, capacidade e potencialidade. Por conseguinte, a resposta prescritiva e normativa à vulnerabilidade é reduzir a exposição, aumentar a capacidade de enfrentamento, fortalecer o potencial de recuperação e reforçar o controle de danos, (isto é minimizar as consequências destrutivas) por meio de recursos públicos e privados.	Watts e Bohle (1993)
Por vulnerabilidade, nós entendemos as características de uma pessoa ou grupo em termos de sua capacidade para antecipar, lidar, resistir e recuperar do impacto de um desastre natural. Isto envolve uma combinação de fatores que determinam o grau a que a vida e o sustento de algumas pessoas são colocados em risco por um discreto e identificável evento na natureza ou na sociedade.	Blaikie et al. (1994)
É melhor definida como uma medida agregada que integra exposição ambiental, social, econômica e política a uma gama de potenciais perturbações prejudiciais. Vulnerabilidade é um espaço social multicamadas e multidimensional definido por determinada capacidade política, econômica e institucional de pessoas em lugares e tempo específicos.	Bohle et al. (1994)

É a suscetibilidade diferencial das circunstâncias que contribuem para a vulnerabilidade. Fatores biofísicos, demográficos, econômicos, sociais e tecnológicos tais como a estrutura etária da população, dependência econômica, racismo e a idade da infraestrutura são alguns fatores que têm sido examinados em associação com riscos naturais.	Dow e Downing (1995)
Fator de risco interno de um indivíduo ou sistema exposto a uma ameaça, correspondente a sua predisposição intrínseca a ser afetado ou a ser suscetível a sofrer um dano	Cardona (2001)
Vulnerabilidade, numa definição lata, é o potencial para a perda que inclui elementos de exposição e de propensão ao risco.	Cutter (2011)

Fonte: Adaptado de Cutter (1996) e Prates (2019).

O conceito de vulnerabilidade, igualmente como o de risco, indica uma situação ou estado futuro. Conforme Blaikie et al. (1994), estar vulnerável significa compreender as características de uma população no que diz respeito a sua habilidade de sobreviver, resistir e recuperar-se de uma ameaça ou perigo natural. A vulnerabilidade não se determina por um evento perigoso, mas por certos métodos sociais, econômicos e políticos (BLAIKIE et al., 1996).

Messner e Meyer (2005) ressaltam que a vulnerabilidade corresponde ao grau de perda dentro de uma determinada área com probabilidade de ocorrência de algum evento, não podendo ser definida somente em razão de um aspecto; ela é resultado de uma complexa relação que envolve aspectos físicos, ambientais, técnicos, econômicos, sociais, políticos e sociológicos. Desse modo, a vulnerabilidade acontece em função das condições da população, dos processos econômicos e políticos, ou seja, afetam a distribuição de recursos entre os diferentes grupos de pessoas afetadas por um mesmo evento catastrófico (CARDONA, 2001; VEYRET; RICHEMOND, 2007).

Em conformidade, Tapsell et al. (2010) consideram a vulnerabilidade como uma ligação de um sistema de fatores, como a habilidade para encarar e se restabelecer após um evento calamitoso, o que introduz os princípios de resiliência e resistência. Para Cutter (2011), a vulnerabilidade é o potencial para a perda ou dano que inclui elementos expostos ao risco.

Portanto, o conceito de vulnerabilidade não trata simplesmente da exposição aos desastres naturais, mas sim da capacidade da sociedade enfrentar as consequências do desastre e de se adaptar às novas circunstâncias, ou seja, a resiliência.

Timmerman (1981) foi um dos primeiros pesquisadores a tratar a resiliência da sociedade às mudanças climáticas, atrelando este conceito ao de vulnerabilidade. O mencionado autor define resiliência como a medida da capacidade de um sistema (ou parte de um sistema)

em absorver ou se recuperar da ocorrência de um evento danoso (CUTTER; BORUFF; SHIRLEY, 2003; KLEIN TANK; KONNEN, 2003).

Segundo Veyret e Richemond (2007), as áreas urbanas apresentam um importante papel nas atividades econômicas e sociais. Os centros urbanos têm supervalorizado o espaço, influenciando para a segregação espacial e dificultando o acesso à habitação adequada, fazendo com que populações de baixa renda procurem ocupar áreas que são constantemente sujeitas às contingências ambientais, ou seja, áreas consideradas de risco. Dessa maneira, as ocupações nessas áreas apresentam problemas para as populações que estão expostas a qualquer tipo de desastre natural (MARICATO, 2001).

Um episódio climático extremo em uma área urbana pode vir a ser extremamente caótico e os seus impactos severos podem vir a estar diretamente relacionados a uma parcela da sociedade em situação de risco e vulnerabilidade, como já mencionado. Por esse motivo, o uso das geotecnologias está cada vez mais presente na avaliação das áreas já ocupadas e ainda não ocupadas pela população.

As geotecnologias contribuem para a avaliação de áreas suscetíveis ao risco bem como para áreas já ocupadas que precisam de um acompanhamento direto de órgãos públicos. Sendo assim, mapeamentos e análises espaciais a partir de geotecnologias apresentam resultados formidáveis à realidade e as necessidades locais para uma efetiva tomada de decisão por parte do poder público (MAGALHÃES et al., 2011).

Além disso, as bacias hidrográficas inseridas nos centros urbanos são afetadas por todos os fenômenos climáticos supracitados, repercutindo em deslizamento de barreiras, alagamentos, inundações e enchentes em virtude da remoção original da cobertura do solo para expansão da malha urbana. E isto, apresenta influência diretamente na diminuição da capacidade de infiltração de água pela impermeabilização do solo. Portanto, as populações que residem nos centros urbanos estão expostas aos eventos naturais que são intensificados pela ação antrópica e isto, de uma forma direta, as colocam em situação de risco e vulnerabilidade (MAGALHÃES et. al., 2011; BOTELHO, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais e os métodos bem como a área de estudo e a coleta de dados secundários para pesquisa.

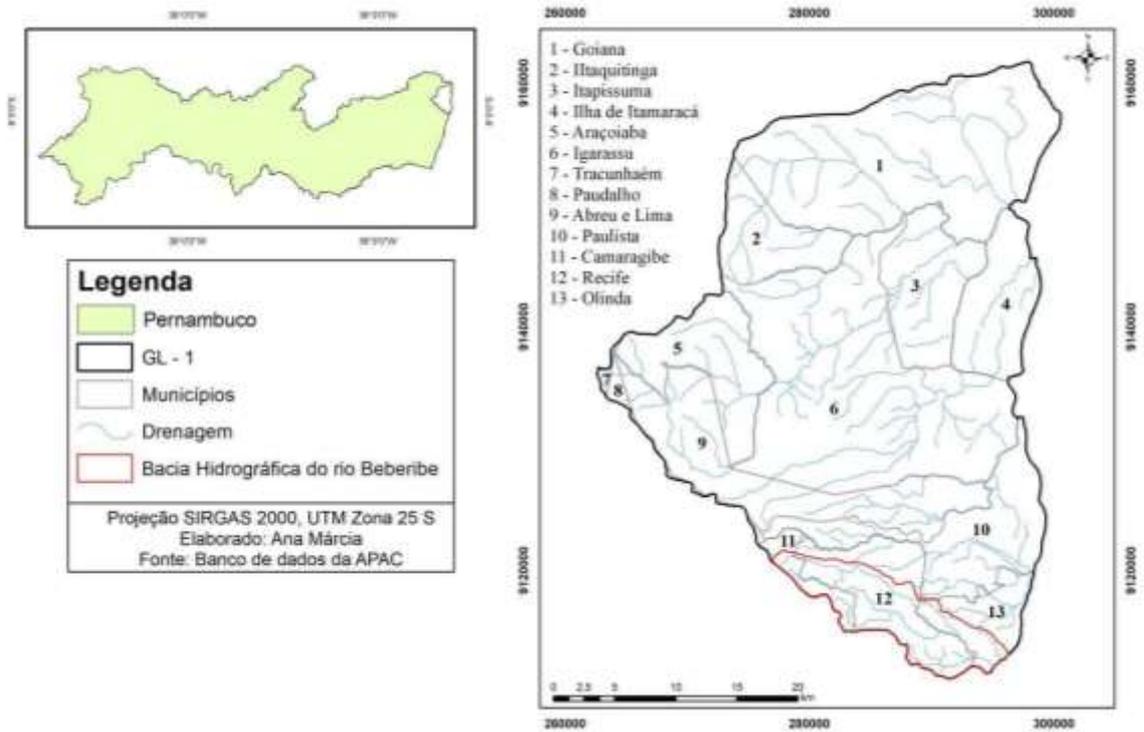
3.1 Recorte espacial da pesquisa

A bacia hidrográfica do rio Beberibe (BHRB) faz parte do Grupo de Pequenas Bacias de Rios Litorâneas (GL-1), localizado na região do Nordeste, no litoral norte do estado de Pernambuco, entre 7° 35' 12'' e 8° 03' 48'' de latitude sul 34°48'46'' e 35°11'33' de longitude oeste (APAC, 2020).

O território do GL-1 possui uma área de 1.188,11 km², está totalmente inserida no estado pernambucano e é constituída por 13 municípios (Figura 3). Esta bacia é formada por pequenas bacias da Zona da Mata Norte e rios localizados na Região Metropolitana do Recife (RMR) que se dispõem de forma paralela e correm no sentido oeste-leste. Assim, a BHRB, localizada na sua porção meridional do GL-1, apresenta como principais cursos d'água os rios Paratibe, Timbó, Igarassu, Botafogo, Itapecuru e Itapirema (CAMPOS, 2003; CPRH, 2018).

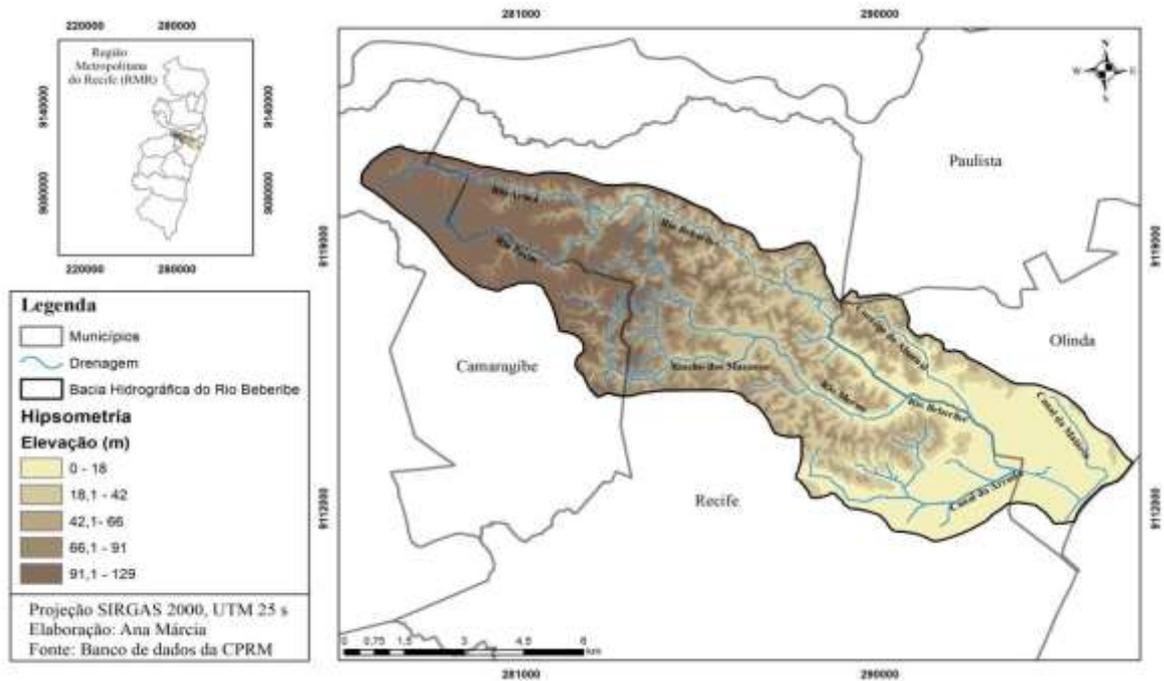
A BHRB tem uma área de aproximadamente 79 km², e encontra-se totalmente inserida na RMR (Figura 4), ou seja, trata-se de uma área intensamente urbanizada devido ao seu histórico de ocupação (CAMPOS, 2003). Os valores percentuais dos municípios que envolvem a bacia são de Recife com 65,2%, Olinda com 19,3%, Camaragibe 15,3% e havendo uma pequena intersecção do município de Paulista com 0,2%.

Figura 3 - Localização do Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos 1 – GL-1



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 4 - Localização da bacia hidrográfica do rio Beberibe



Fonte: Elaborado pela autora.

O rio Beberibe tem sua nascente no município de Camaragibe, a uma altitude de 129 metros, sendo formado pela junção dos rios Pacas e Araçá e que somente após essa confluência

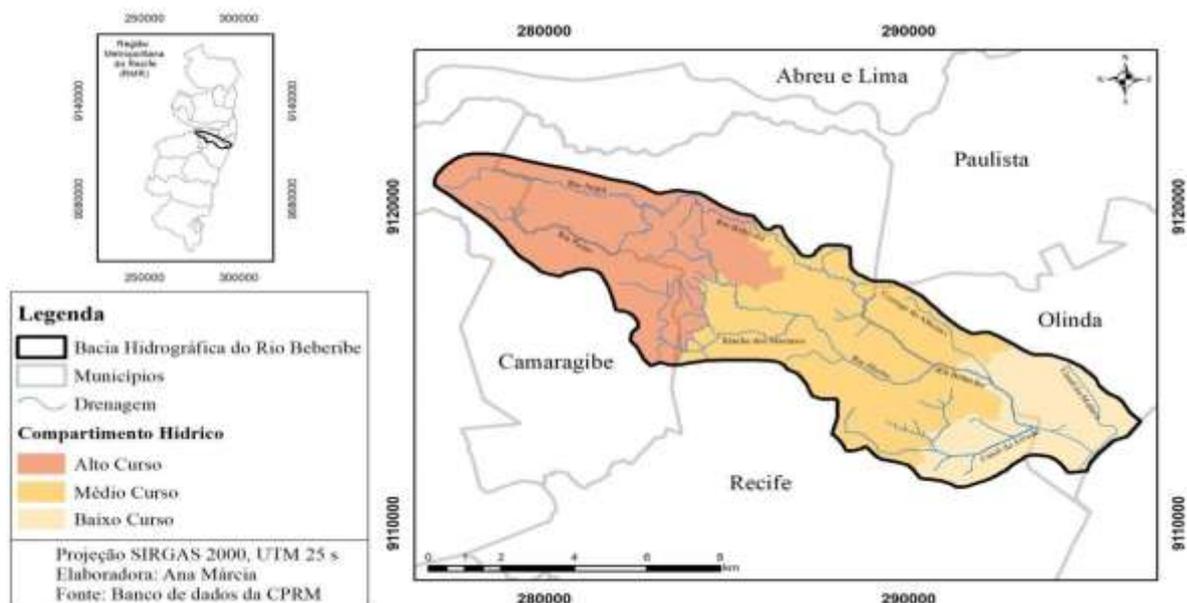
passa a ser denominado de rio Beberibe, percorrendo 23,7 quilômetros até a cidade de Olinda e Recife, fazendo confluência com o Rio Capibaribe antes de desaguar no oceano Atlântico.

Os principais afluentes do rio Beberibe na margem direita são o rio Morno, o rio Macacos e o canal Vasco da Gama ou canal do Arruda, e na margem esquerda, o riacho Lava Tripa, mais conhecido como córrego do Abacaxi e o canal da Malária são os seus afluentes principais. Ao encontrar o canal da Malária o rio Beberibe deixa sua direção inicial oeste-leste e toma o sentido sul, lança-se em uma foz conjunta com o rio Capibaribe no oceano Atlântico (CAMPOS, 2003).

Do ponto de vista hídrico, a BHRB pode ser dividida em três (3) compartimentos: o Alto Curso, das nascentes até a BR-101; o Médio Curso, a partir da BR-101 até o seu encontro com o rio Morno, e o Baixo Curso vai desde a confluência do rio Morno até a foz conjunta com o Capibaribe no oceano Atlântico (Figura 5).

O principal fator para determinar a divisão dos compartimentos foi a diversidade de relevo com diminuição das cotas altimétricas que influencia diretamente na dinâmica hídrica da bacia no sentido oeste-leste, com altitudes que variam de 129 a 1 m para toda área (Figura 4) (CAMPOS, 2003; SRHE/PE, 2012).

Figura 5 - Compartimentos hídricos da bacia hidrográfica do rio Beberibe



Fonte: Elaborado pela autora.

O compartimento do alto curso abrange uma área de aproximadamente 24 km². Os rios encontram-se fortemente encaixados/confinados nos tabuleiros formados a partir da Formação Barreiras. O alto curso apresenta taxa de infiltração elevada, devido a sua pedogênese profunda

resultante da conjunção de condições geológicas e morfológicas propensas, as áreas desta parte da BHRB exercem uma função reguladora dos deflúvios, regularizando os fenômenos de enchentes e inundação em toda bacia (ACQUA-LAN, 1975; CAMPOS, 2003).

Segundo Monteiro e Silva (1979) e Christofolletti (1980) a rede de drenagem do alto, médio e baixo curso segue o padrão dendrítica, pois a água do rio escorre em solos pouco impermeáveis, predominantemente argilosos e de textura fina, representado pela Formação Barreiras.

O compartimento do médio curso corresponde ao trecho da BR-101 até a confluência com o rio Morno, no bairro de Beberibe, em Recife. Este compartimento corresponde a uma área de 6 km². Na porção superior a forma alongada da BHRB no médio curso auxilia na redução dos picos de enchentes e inundações, embora a constituição geológica das duas partes seja semelhante, a taxa de infiltração de água é muito reduzida nos morros presentes no médio curso, pois predominam as formas abauladas de caráter convexo e côncavo do relevo, onde o escoamento superficial das águas precipitadas é favorável (CAMPOS, 1991).

Na porção média o rio Beberibe encontra-se com seu maior afluente, o rio Morno. Esse se estende desde as encostas da Chã do Pau de Ferro até sua confluência, no bairro do Beberibe, onde abrange uma área de drenagem de 10,15 km².

Outro curso d'água de grande relevância para o médio curso é o riacho dos Macacos, que possui uma área de drenagem de 8,73 km². O trecho do rio Morno e do riacho dos Macacos está localizado em uma zona intensamente urbanizada, caracterizada pela presença de tabuleiros sedimentares dissecados, dando margem ao surgimento de formas de relevo com superfícies superiores constituídas por faixas estreitas interligando diversos morros existentes na região (SOUZA e CAMPOS, 2010).

O compartimento do baixo curso da BHRB está localizado entre as cidades do Recife e Olinda, apresentando três importantes fluxos de água neste compartimento, o primeiro o trecho terminal do córrego do Abacaxi, segundo 2/3 do canal do Arruda e o terceiro a totalidade do canal da Malária.

O baixo curso vai desde a confluência com o rio Morno até a foz conjunta com o Capibaribe no oceano Atlântico. Esse compartimento também é a área mais baixa da bacia, apresentando estuários afogados e solos saturados, pois os lençóis freáticos estão muito próximos do litoral. No seu encontro com o rio Morno, o rio Beberibe adentra em uma planície de inundação, e se dilata até o litoral, tornando-se mais caudaloso, principalmente após receber as águas do canal do Arruda pela margem direita e as do córrego do Abacaxi e canal da Malária

pela margem esquerda, além das recorrentes influências das subidas de maré (CAMPOS, 2003; SOUZA e CAMPOS, 2010).

A bacia do rio Beberibe está localizada na RMR, como já foi previamente apresentado. E em virtude disso possui características físicas naturais da área, por exemplo, o clima tropical úmido devido a sua localização latitudinal. De acordo com a classificação de Köppen (1948), o clima é do tipo As' (quente e úmido), com precipitação média anual entre 1.800 e 2.000 mm com maior concentração entre os meses de abril a agosto, caracterizando o período chuvoso de outono-inverno, tendo uma diminuição das precipitações entre os meses de outubro a março, caracterizando o período seco (CAMPOS, 2003).

A pluviometria presente na bacia é influenciada por diferentes sistemas atmosféricos atuantes no alto, médio e baixo curso da bacia hidrográfica em questão. A RMR é influenciada pela ação da massa de ar Tropical atlântica (Ta), que tem como características ser quente e úmida por conta de sua origem no oceano Atlântico Sul. Está massa de ar sofre alteração, de acordo com as condições do tempo, daí incide a formação do que chamamos de sistemas atmosféricos que são os componentes da atmosfera responsáveis por fornecer uma dinâmica ao tempo e ao clima de uma área, sendo causadores de eventos pluviométricos extremos (SOUZA; AZEVEDO, 2012).

A influência da massa Tropical Atlântica sobre o Nordeste (NE), especificamente na costa litorânea pernambucana, sofrem perturbações derivadas da circulação atmosférica secundária. De acordo com Oliveira et al. (2011), na RMR os sistemas atmosféricos registrados com maior frequência, e responsáveis por chuvas intensas e ocasionalmente recorrentes são: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis ou Alta Troposfera (VCANs ou VCATs), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) e Brisas Marítimas (SOUZA, 2011).

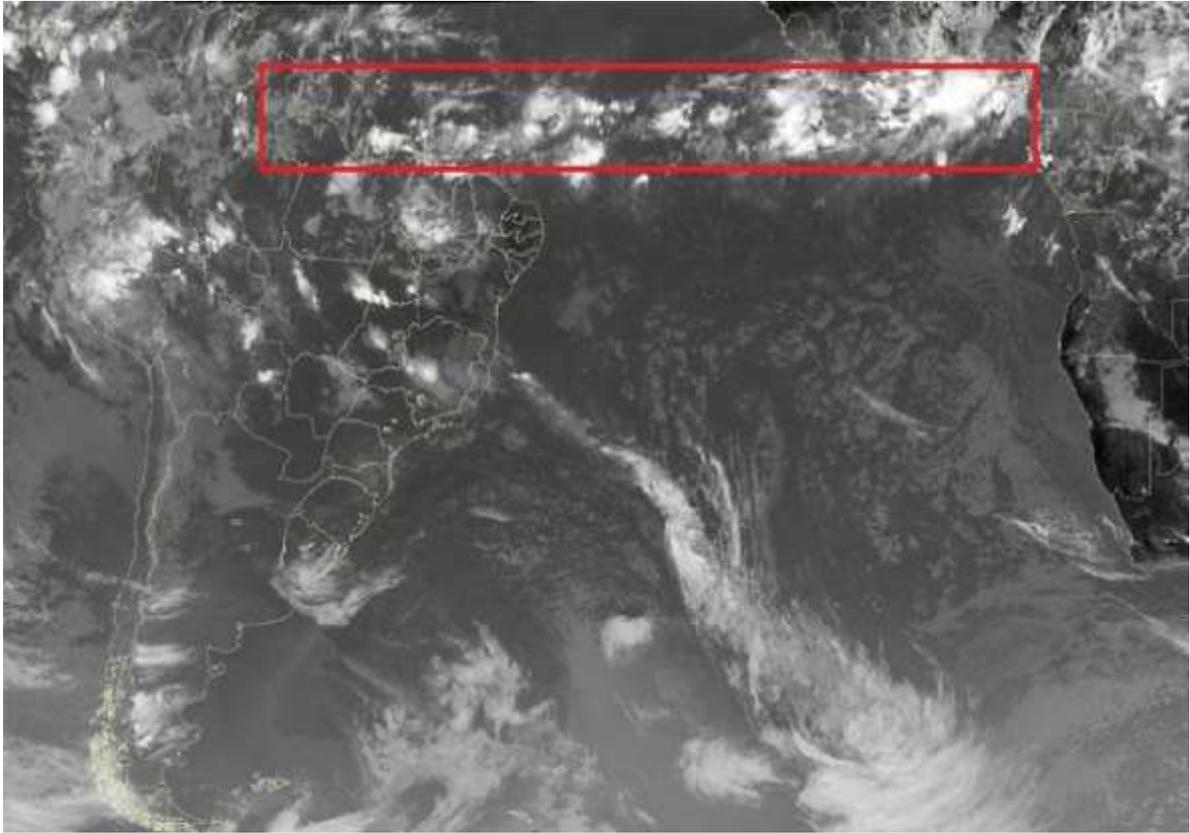
A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é considerada o sistema mais importante gerador de precipitação sobre a região equatorial. A ZCIT é visualizada em imagens de satélite como uma banda de nuvens convectivas que se estendem em uma faixa ao longo da região equatorial (Figura 6).

Ainda, esta região é conhecida por ocorrer devido à confluência e a convergência dos ventos alísios de nordeste (oriundos do Hemisfério Norte) e sudeste (oriundos do Hemisfério Sul) (OLIVEIRA et al., 2011).

Segundo Cavalcanti et al. (2009), o sistema migra sazonalmente para norte e para sul, neste caso, entre agosto e setembro mais para o norte (cerca de 14°N) e entre março e abril mais

para o sul, e é nesse período que elas influenciam a região do Nordeste, provocando uma grande zona de instabilidade.

Figura 6 - Zona de Convergência Intertropical – ZCIT

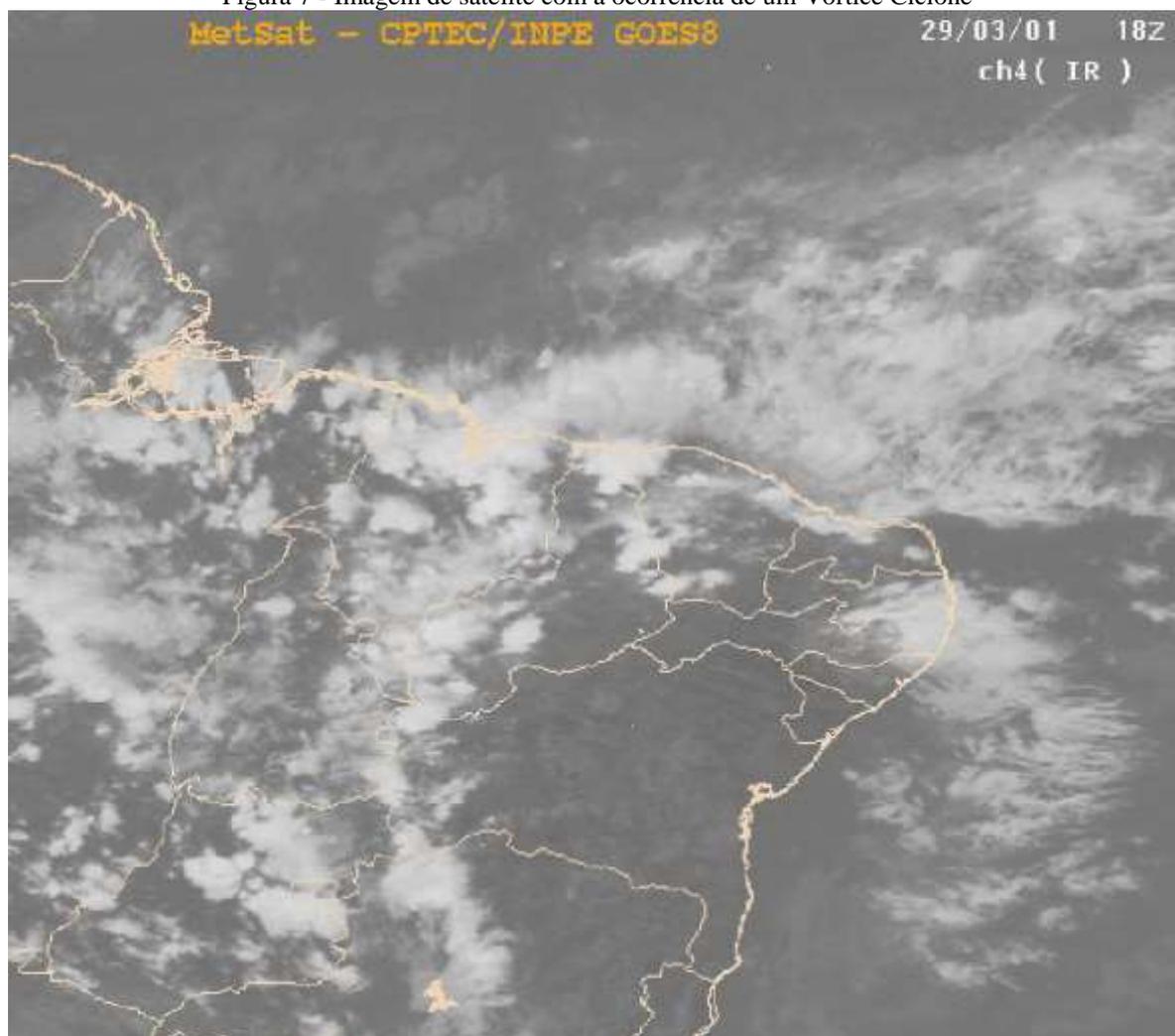


Fonte: CPTEC/INPE - Data:13/04/2012

Outro sistema meteorológico está associado a frentes frias, ou seja, a adição de ar frio na superfície. Nos mapas isobáricos, os VCANs podem ser identificados como contornos fechados caracterizados por centros de baixa pressão com origem na alta troposfera (FERREIRA et al. 2009).

Ainda conforme Girão (2007) e Souza (2011) os VCAN's apresentam deslocamento de leste ou oeste (cerca de 6° de longitude) e giram no sentido horário. No Nordeste atuam sobre o oceano Atlântico entre novembro e março, com duração de no máximo 10 dias (NUNES, 2017) (Figura 7).

Figura 7 - Imagem de satélite com a ocorrência de um Vórtice Ciclone



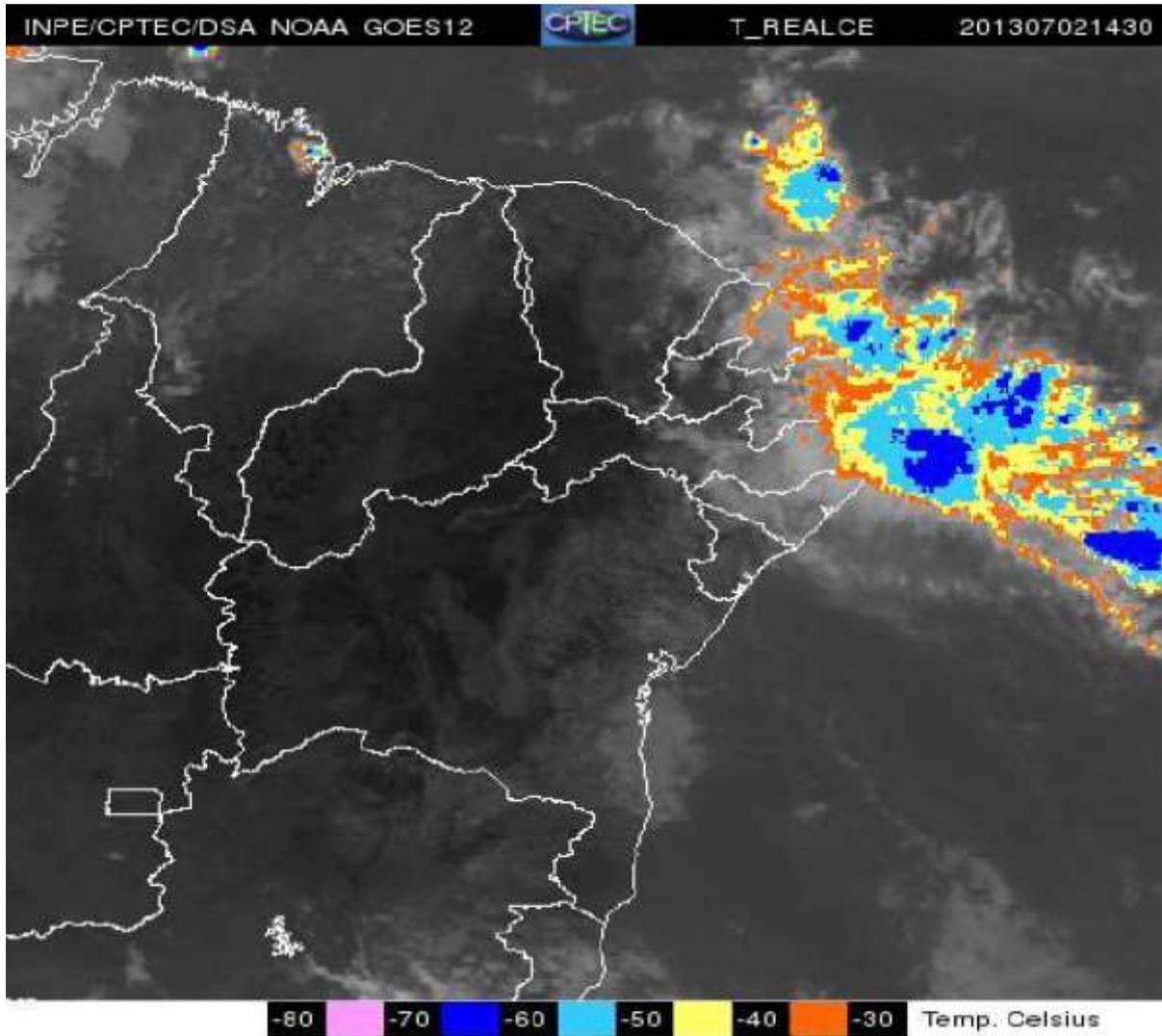
Fonte: CPTEC/INPE - Data:29/03/2001.

Conhecido também como Ondas de Leste, os DOLs é um sistema apontado como um dos mais importantes no que se refere aos índices de precipitação em regiões tropicais, podendo ser definido como perturbações sinóticas associadas a cavados e a temperatura elevada da superfície do mar (CHOU, 1990).

Os DOL's ocorrem na baixa troposfera e sua formação acontece no oceano Atlântico Sul, próximo à costa africana, devido a convergência dos ventos de sul associados a frentes com ventos de leste. Este distúrbio apresenta deslocamento em direção oeste, intensificando à medida que se aproxima da costa leste do nordeste brasileiro (OLIVEIRA et al., 2011).

As ondas de leste produzem chuvas de moderadas a forte com duração de dois a três dias com velocidade de propagação entre 10 e 15m/s, podendo adentrar o continente aproximadamente 150 km (Figura 8). Além disso, atuam majoritariamente entre os meses de abril a agosto (CORRÊA, 2004).

Figura 8 - Imagem de satélite com a ocorrência de uma Onda de Leste



Fonte: CPTEC/INPE - Data:02/07/2013

Classificada como um sistema atmosférico de mesoescala (ROTUNNO et al. 1992), a brisa marítima é um fenômeno que acontece durante o dia, com um regime de ventos que sopram do oceano para o continente. Isso acontece devido a diferença da temperatura da superfície da Terra e da superfície do mar causando assim uma diferença de pressão do ar em baixos níveis, sobre essas superfícies (ALCÂNTARA, 2007).

Do ponto de vista geológico, a BHRB encontra-se em terrenos sedimentares, representados pelos sedimentos mesocenozóicos do Grupo Paraíba, formado pelas formações Beberibe, Gramame, Itamaracá, Barreiras e Maria Farinha localizadas ao norte da bacia (CAMPOS, 2003; SECTMA, 1998).

Com relação à configuração geomorfológica, esta é marcada por dois compartimentos, o primeiro são os tabuleiros, morros e colinas estruturados sobre a Formação Barreiras, que

caracteriza grande parte da BHRB no sentido oeste e norte (com cotas que variam entre 30 e 100 metros). O segundo compartimento são as planícies flúvio-marinhas e terraços marinhos (brejo, mangues, cordões litorâneos) que caracteriza sua parte central além das áreas alagáveis a leste (com cotas que variam de 0 a 5 metros, podendo atingir valores um pouco superiores e até negativos) (CAVALCANTI, 2012; CABRAL et al. 2005; SECTMA, 1998).

Os solos da BHRB são constituídos por sedimentos de textura variada, de areias e argilas (pouco consolidados), e por vezes, seixos rolados, sendo estes decorrentes do processo de pedogênese sobre as rochas sedimentares da formação barreiras, existentes nas áreas de tabuleiros e colinas, desenvolvendo solos dos tipos Latossolos e os Argissolos estes ausentes no mapeamento devido à generalização da escala (BRASIL, 2000; GIRÃO, 2007; LIMA, 2002).

Desde o início dos tempos coloniais, a bacia hidrográfica em questão possui dois padrões de urbanização. O primeiro se refere às áreas que apresentavam melhores condições para construção (sem muita cobrança de investimentos da engenharia), por exemplo, áreas de terraços enxutos e topos planos de colinas, tendo em vista que as áreas foram ocupadas por segmentos sociais de classe elevada. E o segundo diz respeito às áreas que apresentavam condições inferiores para ocupação, e por isso exigia maiores investimentos do poder público, ou seja, planícies de inundação, manguezais estuarinos e vertentes de colinas, foram deixadas para serem ocupadas por segmentos sociais de classe menos favorecida pela sociedade (IBGE, 2010).

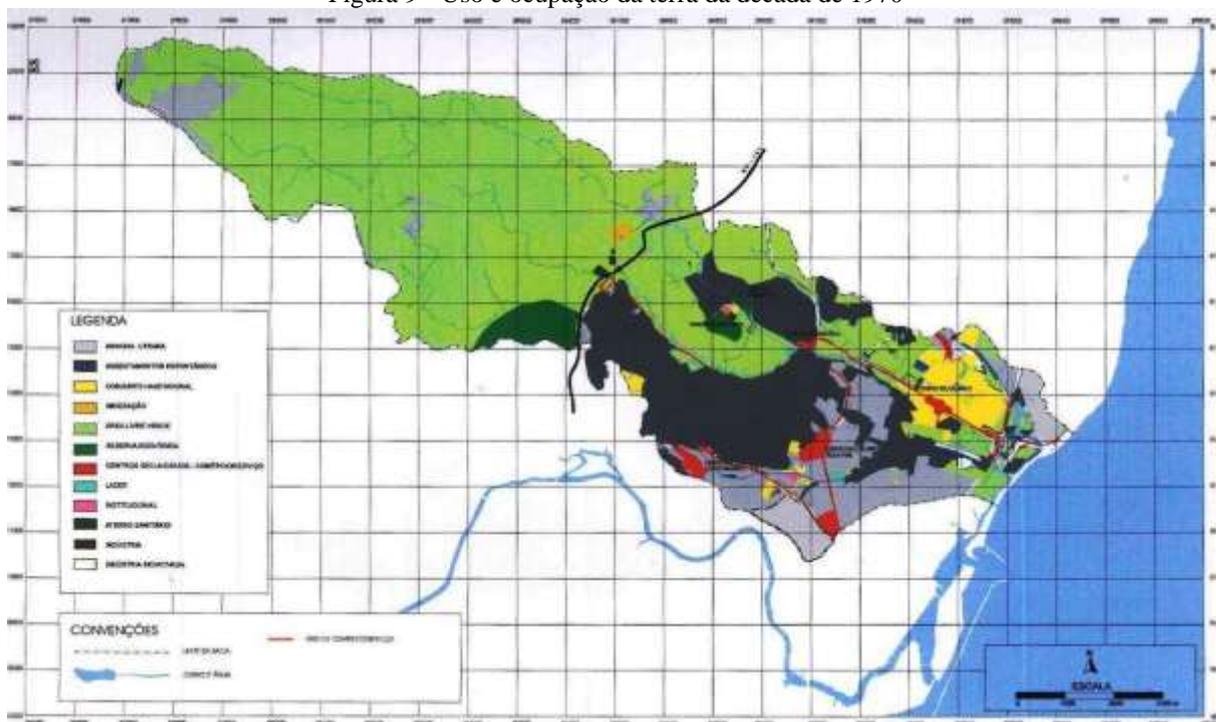
Em meados do século XX, a BHRB começa a sentir os efeitos negativos relacionados a problemas socioambientais devido à expansão urbana desordenada sem planejamento do crescente processo de urbanização entre os anos 1930 e 1970. Nesse período houve o crescimento comercial e industrial mais ativo no Recife, que influenciou diretamente o crescimento urbano e conseqüentemente o populacional, não só na cidade do Recife, mas também na cidade de Olinda. A expansão urbana nessa época apresentava-se tendo maior concentração no baixo curso, e uma boa porcentagem (%) no médio curso, já no alto curso encontrava-se forte presença de áreas verdes preservadas (Figura 9) (CAMPOS, 1991; SRHE/PE, 2012).

Ainda na mesma época, a cidade do Recife, de acordo com Ortiz (1997), era conhecida por ser o centro de grande convergência de migrantes de todo o Nordeste, recebendo famílias oriundas do Sertão e Agreste que estavam fugindo da seca e à procura de condições melhores de vida, observamos as histórias dos migrantes nas literaturas brasileiras por exemplos Morte e

Vida Severina escrita por João Cabral de Melo Neto (1955) e Os Sertões escrito por Euclides da Cunha (1902).

No final do século XX, verificaram-se ocupações nas áreas dos morros na bacia do rio Beberibe em dois períodos distintos: o primeiro, na década de 70, contemplando a porção norte do rio Beberibe, através da expansão periférica do município de Olinda; o segundo procedeu-se a partir de meados das décadas de 80 e 90 entre os rios Beberibe e Morno, resultado dessa expansão urbana no alto e no médio curso da bacia (CAMPOS, 2003; FIDEM, 2000).

Figura 9 - Uso e ocupação da terra da década de 1970



Fonte: Campos (2003).

A BHRB apresentava em sua área uma população total de aproximadamente 590 mil moradores espalhados por toda extensão do território, demonstrando que possui uma região de predominância urbana e de elevada densidade demográfica, com aproximadamente de 7.300 hab/km² (SRHE/PE, 2012).

3.2 Procedimentos metodológicos

A presente pesquisa teve um caráter exploratório e uma abordagem quali-quantitativa. Este tipo de abordagem é considerado por Gunther (2006) como uma das mais apropriadas para esse estudo, por proporcionar uma análise da realidade socioambiental e contribuir para a

compreensão das questões sociais, econômicas e ambientais. Os procedimentos metodológicos para a execução dessa pesquisa centraram-se na revisão bibliográfica, análise dos aspectos físicos e espaciais por meio de técnicas de geoprocessamento e o método de Risco Meira.

Para avaliar a distribuição espacial e temporal da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Beberibe em Pernambuco, fez-se necessário um levantamento no banco de dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) de todos os postos pluviométricos existentes no limite do Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos-1, tendo resultado na seleção de 42 postos pluviométricos (Tabela 1).

Tabela 1 - Relação dos postos pluviométricos do Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos-1

Código	Estação	Período de dados
INMET	Recife	1961 a 2019
307	Recife (Caxangá)	1925 a 1970
30	Recife (Várzea)	1967 a 2019
265	Recife (Alto da Brasileira)	1994 a 2019
196	Recife (Codecipe / Santo Amaro)	1994 a 2019
381	Recife (Ibura)	1968 a 1974
263	Recife (IPA)	1996 a 2002
264	Recife (Jardim Monte Verde)	1996 a 2001
344	Recife (Lamepe/Itep)	2001 a 2013
378	Recife (Santo Amaro)	1980 a 2013
480	Recife - PCD/Recife	1997 a 2013
199	Olinda	1994 a 2019
551	Olinda (Academia Santa Gertrudes)	2007 a 2019
209	Olinda (Alto da Bondade)	2005 a 2016
355	Olinda (Memorial Arcoverde)	2007 a 2008
275	Olinda - PCD	2000 a 2009
198	Abreu e Lima	1994 a 2019
544	Araçoiaba	2006 a 2008
309	Araçoiaba (Granja Cristo Redentor)	2005 a 2019 -
201	Camaragibe	1994 a 2019
130	Goiana	1994 a 2004
372	Goiana	1964 a 1968
400	Goiana (Itapirema)	1963 a 1970
28	Goiana (Itapirema - IPA)	1994 a 2019
450	Goiana (Itapirema)	1979 a 2000
319	Goiana (Matari)	1923 a 1954
415	Goiana (Usina Maravilha)	2001 a 2012

101	Itaquitinga	1967 a 2019
487	Goiana - PCD	1994 a 2019
441	Igarassu	1964 a 1999
442	Igarassu (Botafogo)	1985 a 1986
498	Igarassu - PCD (Botafogo)	2000 a 2002
100	Igarassu	1963 a 2019
269	Igarassu (Bar.Catucá)	1990 a 2019
294	Igarassu (Usina São José)	2004 a 2019
524	Itamaracá	2001 a 2019
520	Itapissuma	2001 a 2019
354	Paudalho (Usina Mussurepe)	1963 a 1993
98	Paudalho	1967 a 2019
408	Paudalho (Barragem de Goitá)	2001 a 2019
451	Paulista	1999 a 2019
515	Tracunhaém	2000 a 2019

Fonte: Elaborado pela autora.

Tendo como base a análise climatológica definiu-se então que o intervalo de dados padrão deveria contemplar no mínimo um período de 30 anos, conforme Organização Meteorológica Mundial determina (OMM).

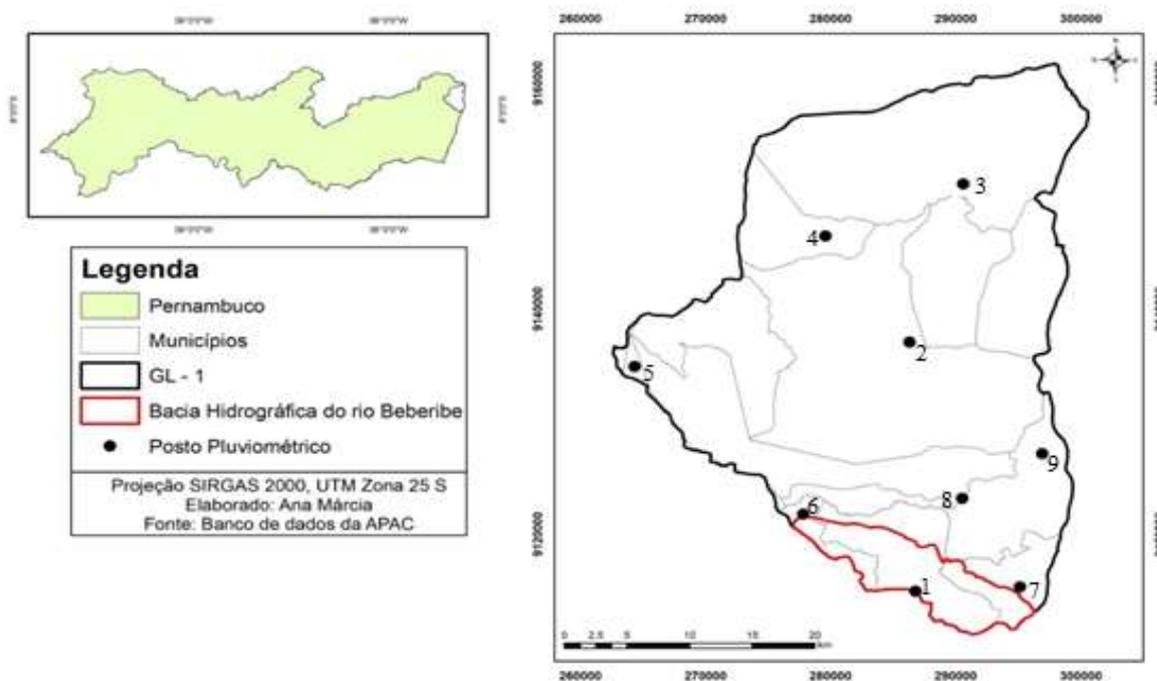
Dessa forma foram identificadas quarenta e duas estações pluviométricas espalhadas pelo GL-1 no período de 1961 a 2019. Entretanto, somente nove postos pluviométricos foram aptos para a análise pluviométrica, pois os outros apresentaram séries de dados incompletos, falhas e até anos sem nenhuma informação (Tabela 2) (Figura 10).

Tabela 2 - Relação dos postos pluviométricos selecionados e suas respectivas localizações e período de dados

Ordem	Posto	Latitude	Longitude	Início	Término
1	Recife	9114952,94	286813,8	1961	2019
2	Igarassu	9131321,47	288204,3	1963	2019
3	Goiana	9154228,95	283767	1963	2019
4	Itaquitinga	9146046,00	279123,00	1963	2019
5	Paudalho	9134197,06	269899,7	1963	2019
6	Camargibe	9121799,64	277836,1	1994	2019
7	Olinda	9115348	295150	1994	2019
8	Abreu Lima	9123187	290545	1994	2019
9	Paulista	9126959,07	297307,35	1994	2019

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 10 - Localização das estações pluviométricas de acordo com a Tabela 2



Fonte: Elaborado pela autora.

Os postos de Camaragibe, Abreu e Lima, Olinda e Paulista tiveram um período de análises diferente dos demais, devido à insuficiência de dados do período da análise inicial ser de 1963 a 2019, sendo que os dados disponíveis para esses postos foram a partir de 1994.

Diante do exposto, não foi possível determinar a climatologia, pois para isto seria necessário ter um período de no mínimo de 30 anos. Sendo assim, analisaremos as médias mensais e a média anual dessa série apresentada de 1994 a 2019.

Com relação aos demais postos de Recife, Igarassu, Goiana, Itaquitinga e Paudalho possuem uma série superior a 30 anos, sendo assim determinaremos a climatologia para esses postos.

Ainda, a análise da média decadal pluviométrica correspondeu a um período específico dos dados, bem como de 1961 a 1969; 1970 a 1979, 1980 a 1989, 1990 a 1999, 2000 a 2009 e de 2010 a 2019. É importante pontuar que dados inferiores há sete anos não foram contados para realização da análise decadal, pois não apresentaria precisão na amostragem.

Sendo assim, vale ressaltar que a análise decadal irá ter marco inicial dos dados a partir de 1963, sendo posto Recife o único com dados a partir de 1961.

Dessa maneira, seguimos para as seguintes etapas:

- Realizou-se uma avaliação espacial e temporal da média da precipitação pluviométrica mensal, anual e decadal da área de estudo. Foram elaborados mapas pluviométricos a

partir da interpolação de dados de precipitação coletados no banco de dados da APAC. Inicialmente os dados dos postos pluviométricos foram adicionados em uma tabela com as seguintes informações: Código, Posto, Ano, Meses do ano e o Total anual.

- O total anual foi à soma dos de todos os meses do ano, já a média de precipitação mensal foi feita realizando a média dos meses de forma automática no *Software Excel*.
- Os postos com a série de 1994 a 2019 foram geradas às médias anuais e os postos com série 1963 a 2019 foi determinada a climatologia.
- Após as médias de precipitação dos postos pluviométricos serem geradas ainda se fez preciso interpolar as médias de cada posto, para poder somar as médias e gerar climatologia do período de 1963 a 2019.
- Ainda, Para a análise decadal precisaram-se interpolar as médias decadais geradas de cada período e posto, para gerar a média total de precipitação da década.
- Posteriormente a tabela com as médias mensais, anuais e decadais foram plotadas no *software ArcGis 10.5* (licença estudantil) para analisar espacialmente a distribuição pluviométrica através do método geoestatístico IDW na base cartográfica da área de estudo.

Para a geração dos cenários das mudanças climáticas foram adquiridos dados modelados das variáveis precipitação e da temperatura média, por meio da plataforma PROJETA (Projeções de mudança do clima para a América do Sul regionalizadas pelo Modelo Eta) para o período de 2022 a 2099.

O PROJETA disponibiliza o 'downscaling' de quadro modelos climáticos globais, por exemplo, o modelo britânico HadGEM2-ES; o modelo japonês MIROC5; o modelo canadense CanESM2; e o modelo brasileiro BESM. Essa plataforma permite o acesso amplo e irrestrito a diversos parâmetros climáticos disponíveis, e visa atender as demandas dos usuários por acesso aos dados das projeções climáticas, tratados e compatíveis com programas e plataformas de análises setoriais (HOLBIG et al. 2018; CHOU, et al. 2014).

Desta forma, para extrair os dados para a bacia do rio Beberibe foi utilizada a localização das cidades de Recife, Olinda, Paulista e Camaragibe por meio da plataforma e os dados adquiridos foram tratados no *Software Excel*. Diante do exposto, foi possível obter os dados referentes aos cenários climáticos regionalizados pelo modelo Eta aninhado com alguns dos modelos globais: MIROC5 e HADGEM2-ES para os cenários futuros da precipitação, bem como da temperatura.

Para identificar as mudanças do uso e ocupação da terra foi necessário realizar um levantamento das mudanças do uso do solo nos anos de 1990, 2000, 2010 e 2019. Inicialmente foram levantadas imagens de satélites para traçar a análise acerca da evolução da paisagem na base de dados do MapBiomas e direcioná-las para a área de estudo em questão.

Além disso, para cada classe existente que precisou ser representada, classificamo-las de acordo com Almeida e Freitas (1996) e o IBGE (2013). Deste modo, com base nas alterações em virtude dos processos de uso e ocupação, foram estabelecidas correlações existentes entre a dinâmica da paisagem e a vulnerabilidade da população. Utilizou-se a base cartográfica para a elaboração dos mapas temáticos, que tiveram como base o projeto Pernambuco Tridimensional (PE3D), gerenciado pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDEC). Diante disso, as geotecnologias assumem um papel importante neste estudo, através do Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Conforme Oliveira (1997) o SIG apresenta uma relação das diversas áreas de aplicabilidade, por exemplo, no meio ambiente e na ocupação humana. As técnicas de geotecnologias são ferramentas de imensa relevância para tomadas de decisões, além dos MDTs que apresentam a real superfície topográfica da superfície terrestre.

Em relação aos dados de uso do solo, os mesmos foram provenientes do MapBiomas, base de dados colaborativa que disponibiliza gratuitamente as informações em formato de imagem, do uso e ocupação do solo para todo território nacional, em escala espacial de 30m x 30m, com dados anuais do período compreendido entre os anos de 1985 a 2019, por meio do endereço eletrônico <https://mapbiomas.org/download>.

A realização desses dados se inicia com a obtenção de imagens de satélite provenientes da série de satélites Landsat (TM, ETM+ e OLI), que depois de selecionadas, passam por uma série de processamentos para retirada de nuvens, fumaça e demais objetos que causem interferência na qualidade da imagem.

Portanto, para produção de uma imagem desprovida de fatores de confusão, são selecionados os pixels sem nuvens, onde são calculadas várias métricas que explicam o comportamento espectral destes pixels em cada ano. São obtidos os valores máximos, mínimos e amplitude de variação de cada banda espectral

Para cada ano é montado um mosaico com as informações espectrais de cada pixel, que vão dar subsídio para algoritmos classificadores de imagem e posterior análise de acurácia por meio de interpretação visual. As imagens são classificadas por tema (Pastagem, Agricultura, Zona Costeira e Área Urbana) dentro de cada bioma. Ainda são aplicados filtros espaciais para melhoramento da consistência espacial dos dados, por meio da eliminação de pixels isolados e

efeito de borda. Os mapas de cada tema são integrados para obtenção de um mapa para cada ano.

Os dados do censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foram utilizados para o cálculo de vulnerabilidade de acordo com Souza et al. (2014) que adotaram as seguintes variáveis: Densidade Demográfica (DD), Renda per capita Média (RM), População Total (PT), condições de Habitabilidade (H) e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) das cidades de Camaragibe, Paulista, Olinda e Recife (Tabela 3).

Tabela 3 - Variáveis do IBGE a serem usadas no cálculo do Índice de vulnerabilidade

	População Total (PT)	Densidade Demográfica (DD)	Renda per Capita Média (RM)	Condições De Habitabilidade (H)	Índice De Desenvolvimento Humano (IDH)
Camaragibe	144.466	2821,93	846,35	0,161091	0,692
Olinda	377.779	9068,36	1119,77	0,364369	0,735
Paulista	300.466	3086,01	925,4	0,376037	0,732
Recife	1.537.704	7037,61	1898,65	0,466770	0,772

Fonte: IBGE, 2010.

E por fim, para determinar o índice vulnerabilidade socioambiental da população. A equação teve como parâmetro os estudos de (SOUZA, 2011) bem como os indicadores socioeconômicos adquiridos pelo IBGE (2010).

Equação 1:

$$V = DD + RM + PT + H$$

A partir da equação 1 foi obtido o índice vulnerabilidade das cidades de Recife, Olinda, Camaragibe e Paulista. O mapa do índice, assim como os mapas de população, renda, DD, IDH, IDH-L, IDH-E e IDH-R, etc., foram realizados no *software ArcGis 10.5* com a base de dados do IBGE.

Ainda, as classes adotadas para o mapa do índice de vulnerabilidade seguiram: Baixa, Média, Alta e Muito Alta, definidas pelo método do Desvio Quartílico, conforme Ramos e Sanchez (2000). Ressalta-se que todas as variáveis e parâmetros foram escalonados entre 0 e 1, cujo valor mínimo é representado pelo 0 e o valor máximo pelo 1, conforme Marcelino et al. (2006).

$$\text{Índice} = \frac{(\text{Vobservado} - \text{Vmínimo})}{(\text{Vmáximo} - \text{Vmínimo})}$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos na presente pesquisa bem como sua discussão.

4.1 Avaliação da distribuição espacial e temporal da precipitação na bacia do rio Beberibe e seus cenários climáticos futuros

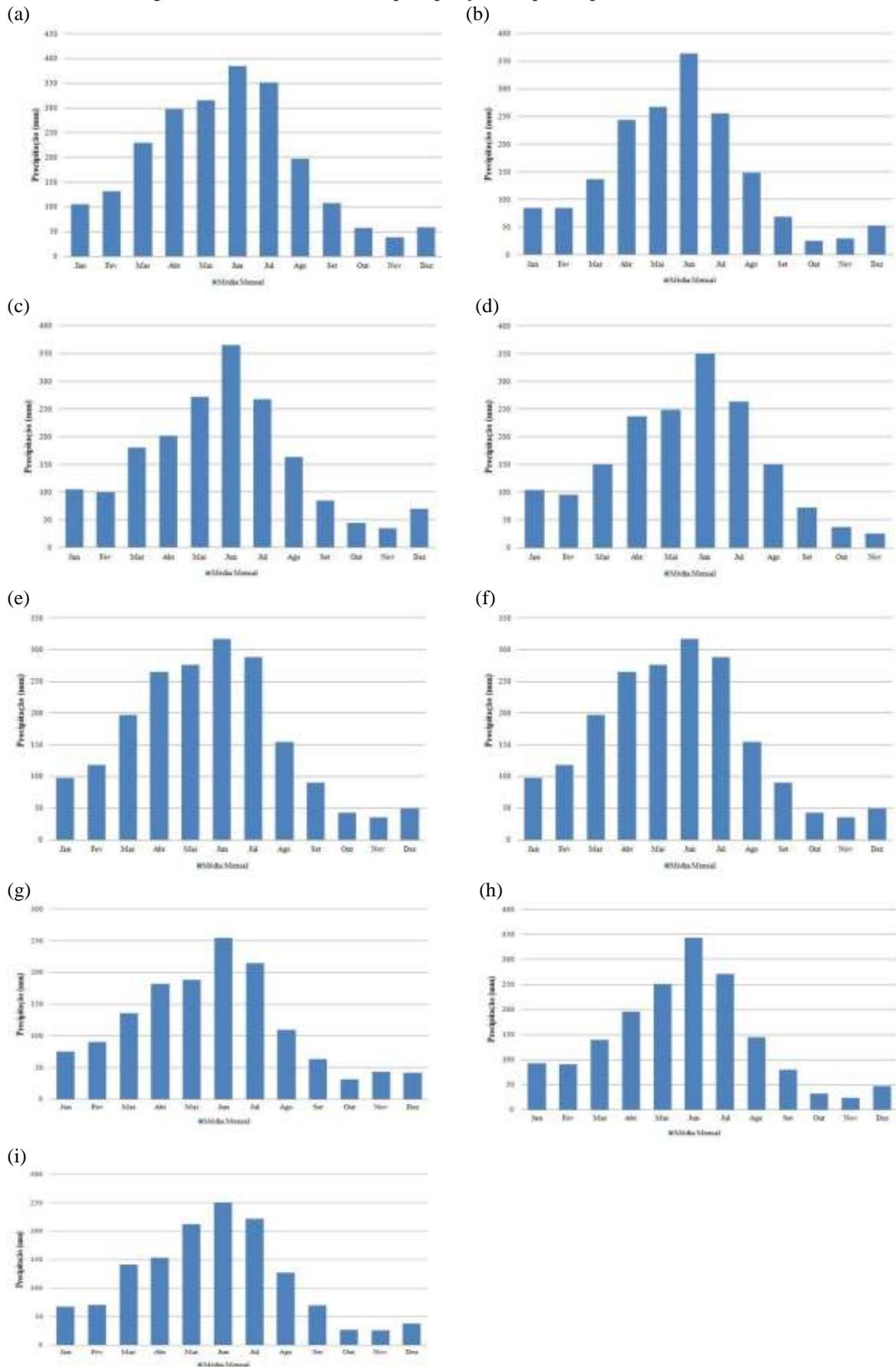
A distribuição da precipitação mensal para os postos selecionados na bacia, apresentam uma distribuição diferenciada no decorrer dos meses do ano. Isto ocorre em virtude do período chuvoso que se concentra entre os meses de abril a julho, bem como a atuação dos sistemas atmosféricos específicos com intensidade moderada e intensa como já apresentado.

Portanto, podemos afirmar que o período mais chuvoso no GL-1 bem como na bacia do Beberibe é entre as estações outono-inverno, sendo o mês de junho o mais chuvoso, apresentando uma de variação de 300 a 400 mm em sete dos nove postos pluviométricos analisados. Essa variação de precipitação não se aplica no posto de Paudalho e de Itaquitinga, tendo em vista que são as únicas estações tendo o mês de junho com precipitação de 250 mm a 300 mm, respectivamente.

Como apontado por Oliveira et al. (2011) o período de outono-inverno é o mais chuvoso na RMR devido à forte atuação dos sistemas atmosféricos, além disso é importante salientar que é nesse mesmo período que eventos relacionados a desastres naturais ganham grande destaque na mídia em consequência de fortes chuvas que atingem as populações vulneráveis (SOUZA, 2011).

Conforme a Figura 11 para cada posto pluviométrico avaliado foi representando os dados da pluviometria por meio de um climograma com o intuito de observar a precipitação média ao longo dos meses dos anos. Como já mencionado, o mês de junho é considerado o mais chuvoso da região. A ordem dos climogramas foi: (a) Recife, (b) Olinda, (c) Camaragibe, (d) Paulista, (e) Igarassu, (f) Goiana, (g) Itaquitinga, (h) Abreu e Lima e (i) Paudalho.

Figura 11 - Médias mensais da precipitação dos postos pluviométricos no GL-1



Fonte: Elaborado pela autora.

A distribuição da precipitação mensal, para os postos selecionados na bacia, apresenta uma distribuição diferenciada no decorrer dos meses do ano como já mencionado. Os dados de precipitação pluviométrica foram avaliados estatisticamente quanto ao seu comportamento mensal mediante o processamento dos dados mensais, anuais e decadais, apresentados a seguir.

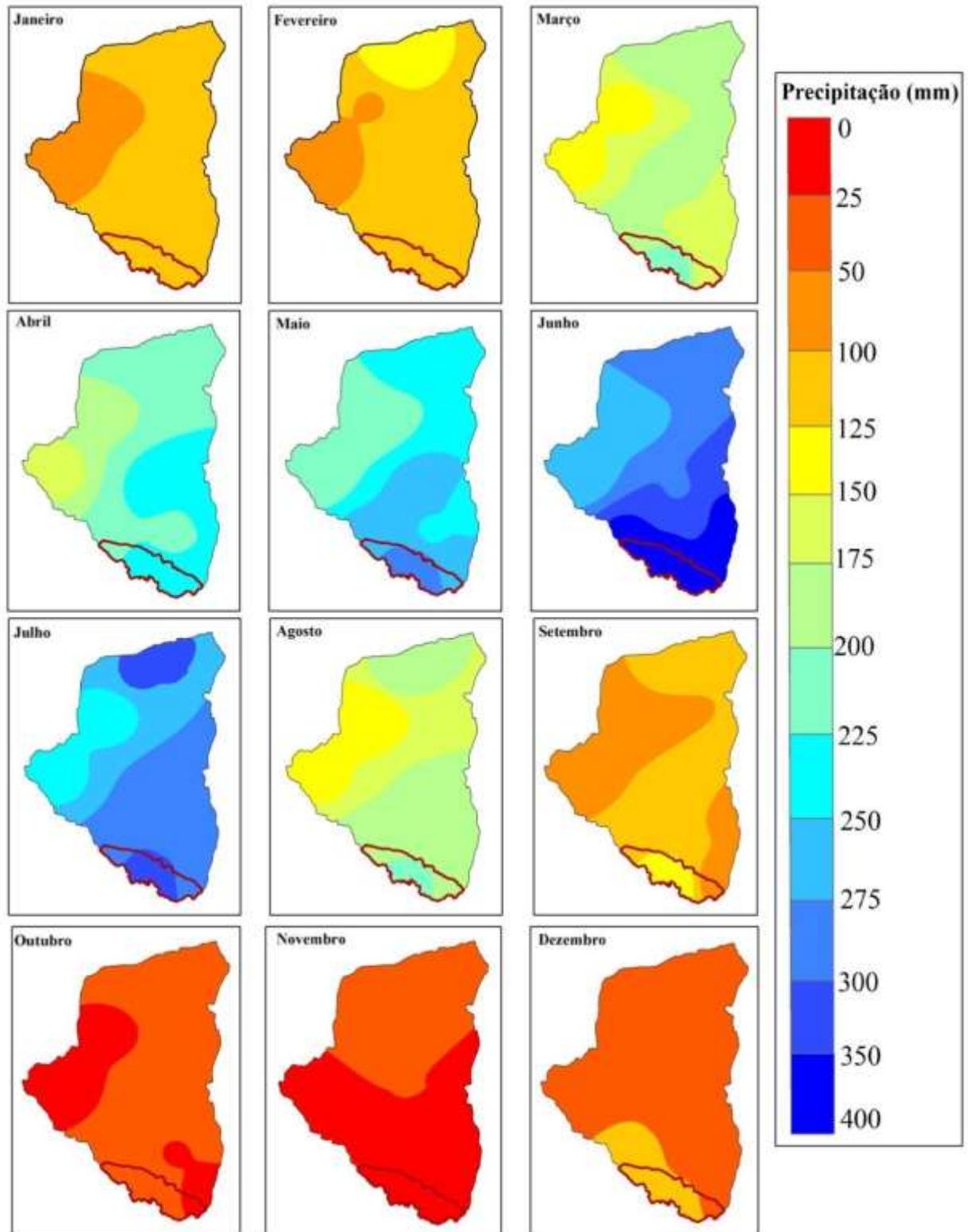
Como podem ser observadas na Figura 11, as médias mensais de precipitação demonstraram uma tendência crescente entre os meses de fevereiro e junho, atingindo seu ápice neste último mês com uma média mensal superior a 300 mm. A partir daí, fica evidente uma tendência de diminuição ao longo dos meses julho a dezembro. Tendo uma diminuição na faixa dos meses de outubro e novembro, sendo esse último com uma precipitação inferior a 36 mm.

A representação geoespacial da distribuição pluviométrica mensal do GL-1 com destaque para a bacia hidrográfica do rio Beberibe, apresenta um método geoestatístico IDW, que permite uma visualização espacial da disparidade do volume pluviométrico mensal com os dados apresentados na Tabela 2 do período de 1963 a 2019.

Na análise mensal da distribuição pluviométrica para toda a área de estudo conforme apresenta a Figura 12, foi possível analisar a distribuição espacial da pluviosidade através da interpolação dos dados mensais.

Sendo assim, os nove postos pluviométricos analisados apresentam médias mensais relativamente parecidas, tendo apresentado variações em virtudes de suas localizações na bacia. Para os postos próximos a jusante observou-se uma onda anual de pluviosidade com padrão diferente ao observado a montante da bacia do período de abril a agosto. Incidência de chuva a montante nesses meses tem a influência dos sistemas atmosféricos que não conseguem adentrar nessas áreas, pois vai perdendo sua força em razão dos aspectos físicos.

Figura 12 - Distribuição espacial da média da precipitação pluviométrica mensal do período de 1963 a 2019 da bacia hidrográfica do rio Beberibe



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do banco de dados da APAC.

Ainda, observou-se que o mês de junho apresentou o maior acumulado nos valores de precipitação, acima de 350 mm na área total da bacia do rio Beberibe do período de 1963 a 2019. Diferentemente dos demais meses que apresenta uma variação pluviométrica espacialmente distinta.

Os únicos meses que apresentam um acúmulo de chuva de forma homogênea, além do mês de junho são os meses de janeiro e fevereiro com o acúmulo de chuvas sequencialmente iguais acima de 25 mm, e o mês de outubro com a menor precipitação mensal do ano na área da bacia.

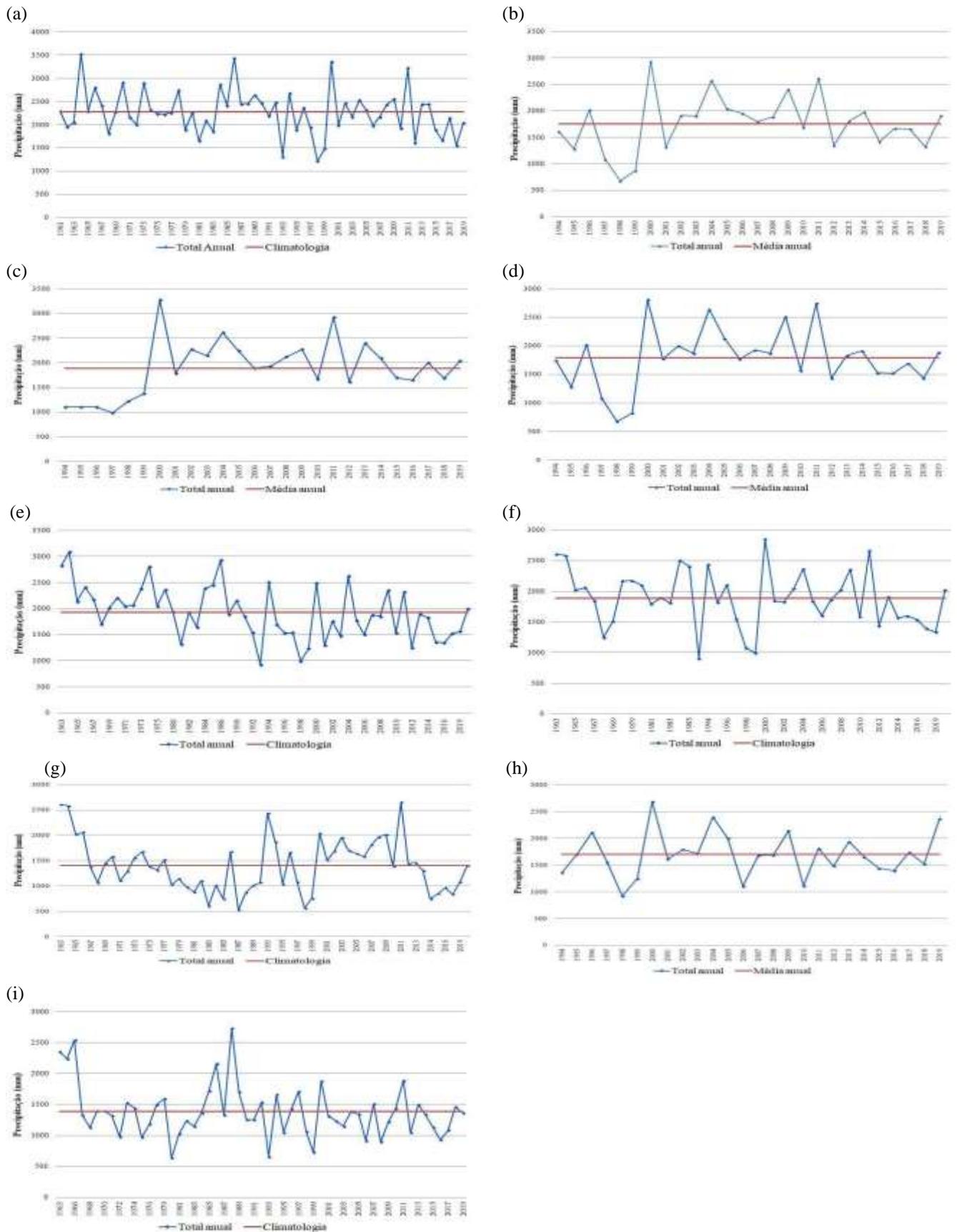
A distribuição espacial da precipitação para os demais meses apresentou variações particulares de precipitação. Com relação ao período chuvoso da bacia, é importante salientar que é nesse período que a população deve ficar em alerta para os locais ocupados em áreas de morros e as margens dos rios, visto que os riscos nesses locais estão diretamente associados aos eventos pluviométricos nesse período e sua intensidade.

Em relação a análise do acumulado anual para os postos selecionados da bacia foi possível constatar a variabilidade na distribuição da pluviosidade ao longo da série histórica de 1963 a 2019 para os postos de Recife, Igarassu, Goiana, Itaquitinga e Paudalho, bem como às médias anuais da série histórica de 1994 a 2019, para os postos Olinda, Abreu e Lima, Camaragibe e Paulista (Figura 13).

Analisando a distribuição espacial e temporal da precipitação para o GL-1, observa-se que o total anual da precipitação dos postos pluviométricos tem uma média superior a 1600 mm de chuvas anuais.

Ainda, os resultados obtidos foram utilizados para a investigação da variabilidade anual para caracterizar os anos mais chuvosos de cada posto. Os postos usados para essa análise foram: (a) Recife, (b) Olinda, (c) Camaragibe, (d) Paulista, (e) Igarassu, (f) Goiana, (g) Itaquitinga, (h) Abreu e Lima e (i) Paudalho.

Figura 13 - Distribuição temporal da precipitação dos postos pluviométricos



Fonte: Elaborado pela autora.

Os anos em que registraram os maiores valores de precipitação (total anual) no posto pluviométrico do Recife foram 1964, 1984, 2000 e 2010, com precipitação acima de 3000 mm.

O posto de Olinda, Camaragibe e Paulista apresentaram precipitações acima de 2500 mm nos anos de 2000, 2004 e 2010.

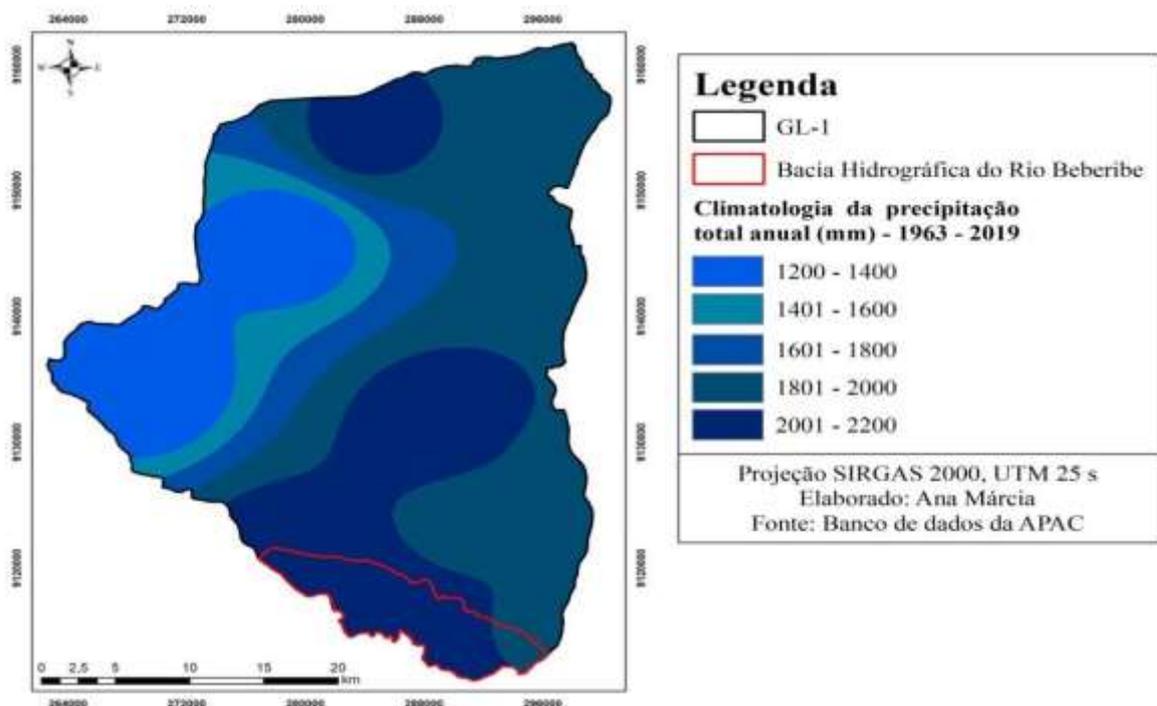
Além do posto Abreu e Lima com precipitação acima de 2500 mm foi registrada apenas no ano de 2000.

Ainda, no posto de Goiana as precipitações acima de 2500 mm foram somente no ano de 1964, 1984, 2000 e 2010, Igarassu com essa mesma faixa de precipitação foi no ano de 1964, 1974, 1900, 2000 e 2010, Paudalho no ano de 1967 e 1990 e Itaquitinga no ano de 1964 e 2010.

Ao longo de cada série histórica para cada posto pluviométrico, foi possível visualizar os anos considerados atípicos na distribuição da pluviosidade.

A representação geoespacial da distribuição pluviométrica anual no GL-1 permite visualizar a variação espacial da pluviosidade do ano de 1963 a 2019 da área de estudo (Figura 14).

Figura 14 - Distribuição espacial da precipitação pluviométrica do período de 1963 a 2019 da bacia hidrográfica do rio Beberibe



Fonte: Elaborado pela autora.

Na análise espacial da distribuição pluviométrica anual da bacia do rio Beberibe, constatou-se que os maiores valores acumulados foram registrados na porção norte, sul e sudeste da bacia com um percentual acima dos 2000 mm. Já na parte a montante em direção à jusante da bacia, a distribuição da pluviosidade apresenta um gradativo decréscimo, atingindo outro valor a noroeste da área de estudo, com 1800 mm de pluviosidade.

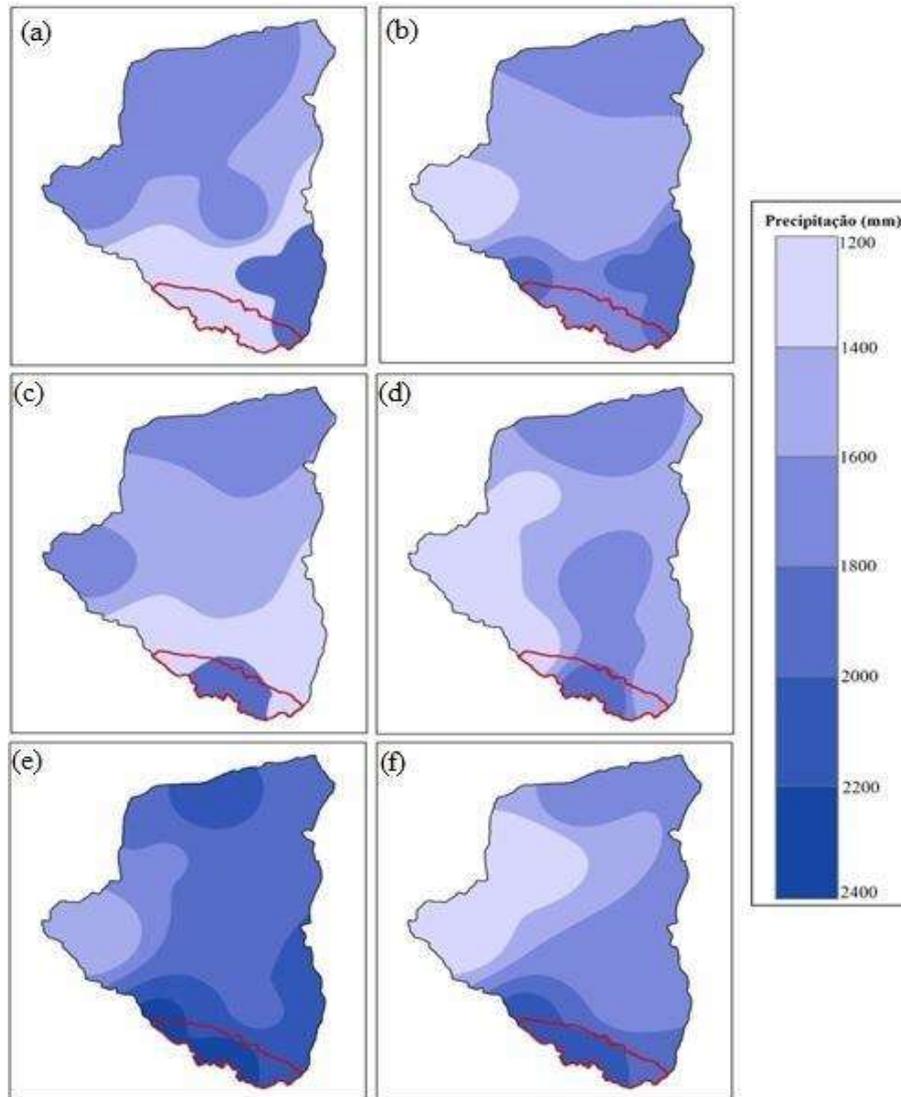
A justificativa para esse decréscimo mencionado é em virtude dos dados coletados exclusivos do posto de Olinda. Os dados apresentaram variações significativas no período de análise do posto supracitado. Aspectos físicos da área são descartados nesse caso.

Em relação a análise da distribuição espacial da precipitação pluviométrica decadal para a série de 1963 a 2019, utilizou-se a média aritmética simples, considerando o período de (a) 1963-1970 e as décadas de (b) 1971-1980, (c) 1981-1990, (d) 1991-2000, (e) 2001 a 2010, e (f) 2011 a 2019 dos postos pluviométricos com o intuito de avaliar a variabilidade decadal da precipitação na bacia do rio Beberibe.

A distribuição espacial da precipitação decadal anual no período de 1963 a 2019, verifica-se um padrão de normalidade com as maiores chuvas decadais observadas na década de 2001-2010 e 2011 a 2019, tendo uma precipitação estimada superior a 2200 mm do período de análise (Figura 15).

A análise da média decadal usou todos os postos selecionados, tendo em vista que os postos com o período de 1990 a 2019 fez uso das informações dos nove postos. Por esta razão, o período inferior a 1990 só teve cinco postos apresentados em consequência da inexistência de dados para os demais postos nesse intervalo de anos.

Figura 15 - Distribuição da média da precipitação pluviométrica decadal do período de 1963 a 2019 da bacia hidrográfica do rio Beberibe



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do banco de dados da APAC.

Na área do GL-1 as médias de precipitação são superiores a 1200 mm, tendo uma distribuição variada de pluviosidade entre o período e às décadas. A análise espaço-temporal dos dados de precipitação pluviométrica decadal anual da bacia do rio Beberibe, apontou para um acréscimo gradativo da quantidade precipitada nos dois primeiros decênios avaliados, além de uma variação espacial significativa quanto aos maiores e menores índices de precipitação.

Com relação às décadas de 1981-1990 e 1991-2000, houve um decréscimo em relação aos sentidos leste e oeste na bacia. Já as últimas duas décadas de 2001-2010 e 2011-2019 apresentaram um acréscimo, em relação às décadas passadas.

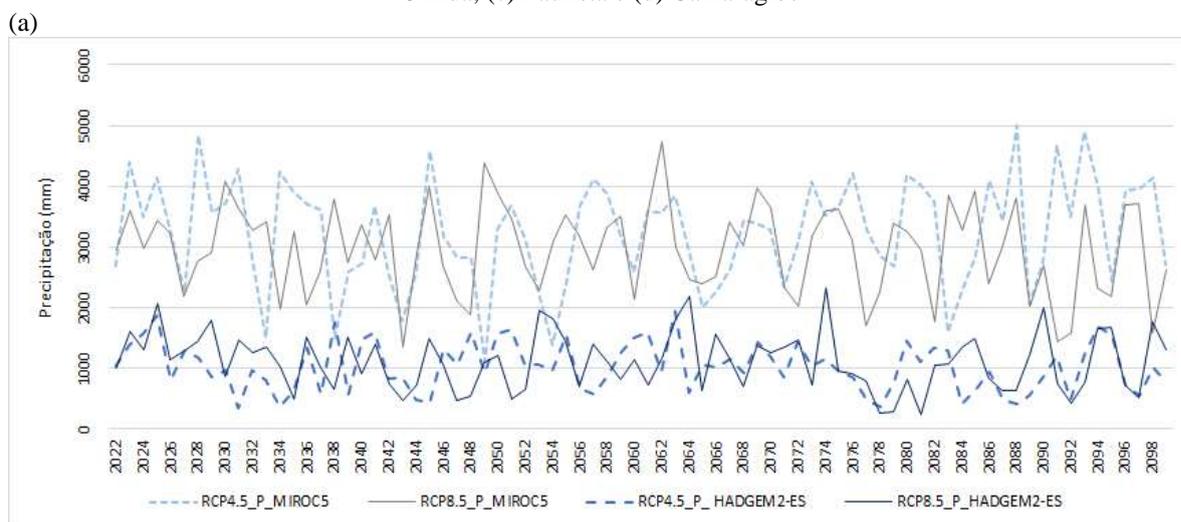
Alterações na dinâmica climática na bacia hidrográfica do rio Beberibe podem ser observadas através da análise dos cenários futuros de mudanças climáticas das cidades que a bacia está inserida. Desse modo, observa-se que as cidades de (a) Recife, (b) Olinda, (c) Paulista e (d) Camaragibe possuem índices de mudanças tanto na precipitação como na temperatura semelhantes.

As projeções futuras são usadas em dois cenários de emissão de gases do efeito estufa. O RCP4.5 é um cenário relativamente otimista com níveis de forçantes radiativas de 4.5w/m^2 , enquanto o RCP8.5 é o cenário mais pessimista com níveis de forçantes radiativas de 8.5w/m^2 .

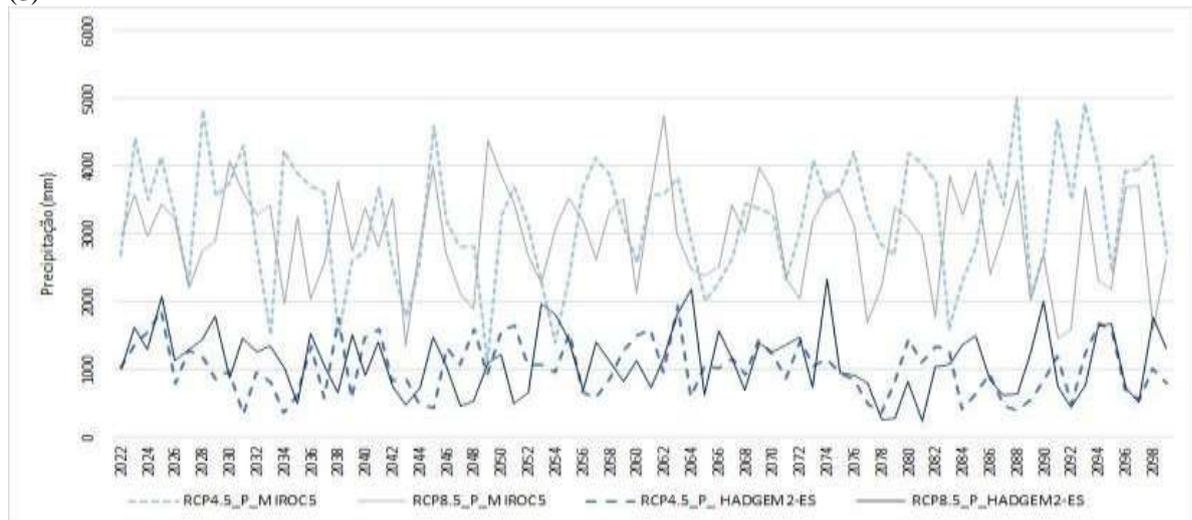
O modelo Eta usado atualmente na plataforma PROJETA (CHOU, 2012) foi configurado com uma resolução de 20 km e o seu domínio cobre toda a América do Sul e América Central, possuindo também uma resolução de 5 km usada para a região sudeste do Brasil. Todos os cenários dos modelos apresentados estão sob uma resolução de 20 km.

Na Figura 16, observam-se projeções de cenários climáticos referentes as precipitações para as cidades de Recife, Olinda, Camaragibe e Paulista são semelhantes/iguais às do modelo MIROC5 e HADGEM2-ES.

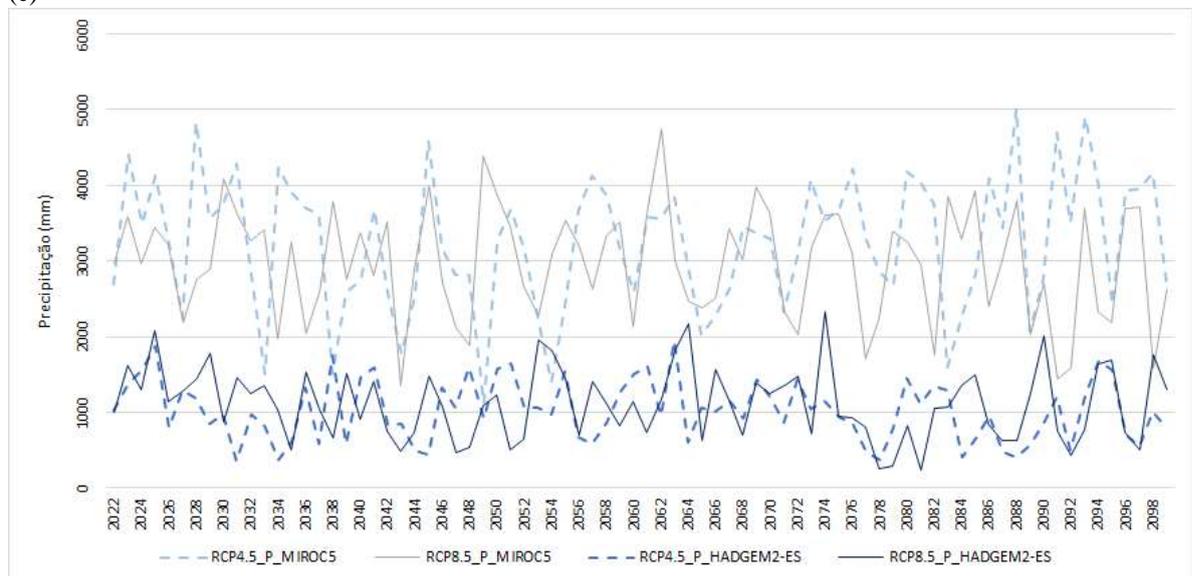
Figura 16 - Cenários climáticos da precipitação pluviométrica para o ano de 2022 a 2099. (a) Recife, (b) Olinda, (c) Paulista e (d) Camaragibe



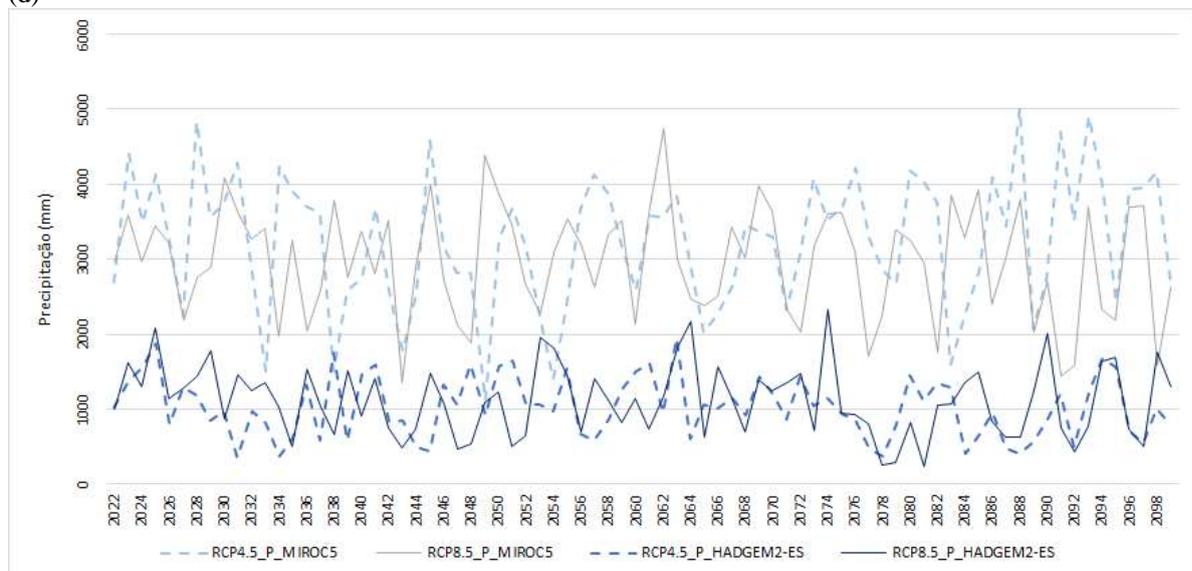
(b)



(c)



(d)



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do banco de dados PROJETA.

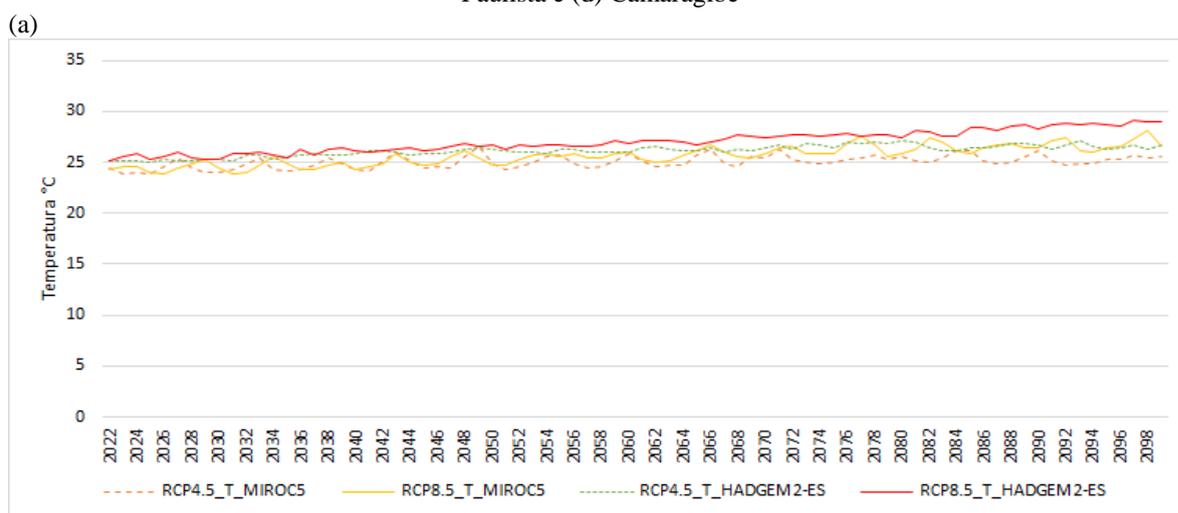
Os cenários dos modelos MIROC5 RCP4.5 e RCP8.5 apresentam os picos mais elevados nos anos de 2025, 2064, 2074 e 2091 com precipitação acima de 2 mil mm e os demais anos com precipitações menores, enquanto os modelos HADGEM2-ES RCP4.5 e RCP8.5 as precipitações estão com picos acima de 3 mil mm para maior parte do período da série, conforme Figura anterior.

Os resultados apresentados nas simulações de precipitação pluviométrica do modelo Eta para os anos de 2022 a 2099 são compatíveis com os resultados de alguns estudos robustos e de alta confiabilidade, publicados pelo Relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014), para a Região Nordeste.

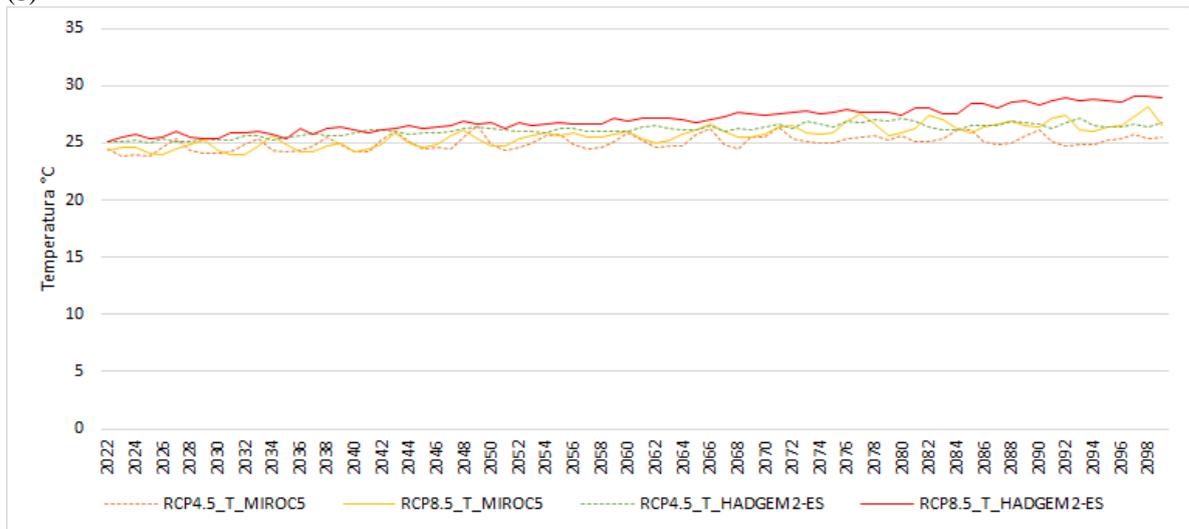
Em relação à temperatura, foram geradas projeções de cenários climáticos também para os anos de 2022 a 2099, utilizando o modelo regional Eta, baseado no modelo global MIROC5 e HADGEM2-ES, com dados semelhantes/iguais também nessa variável para todas as cidades que comportam a bacia (Figura 17).

No cenário do modelo HADGEM2-ES RCP8.5 as temperaturas apresentaram uma linha crescente, aproximando-se de 30 °C até o fim do século XXI. Os outros modelos apresentam variações, em torno dos 24 °C até os 29 °C. Desse modo, as temperaturas apresentaram altas e baixas dentro do período em análise.

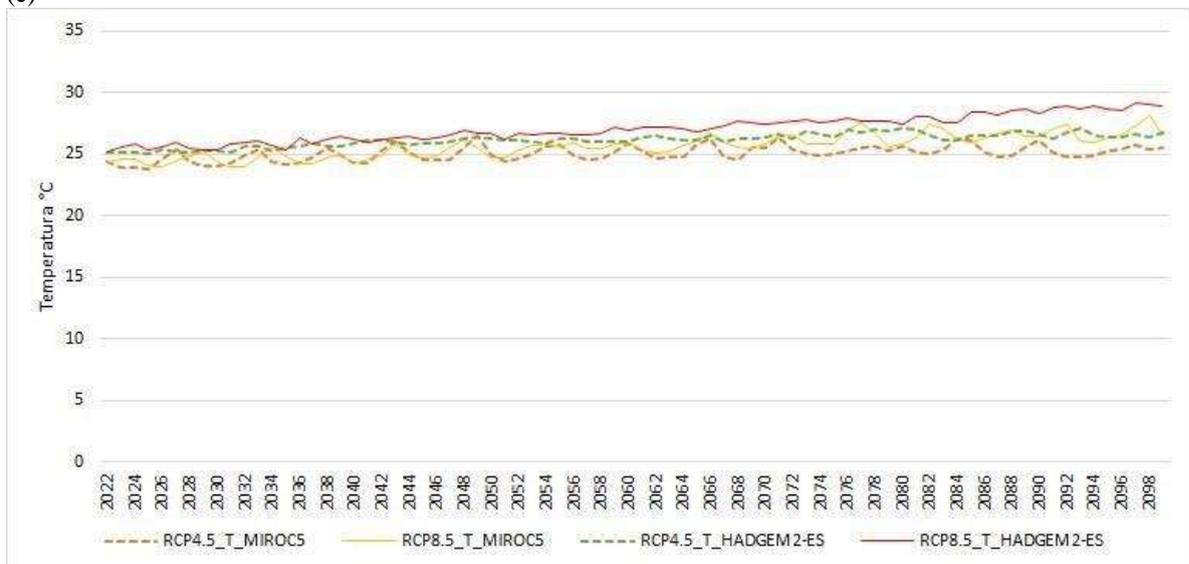
Figura 17 - Cenários climáticos da temperatura média para o ano de 2022 a 2099. (a) Recife, (b) Olinda, (c) Paulista e (d) Camaragibe



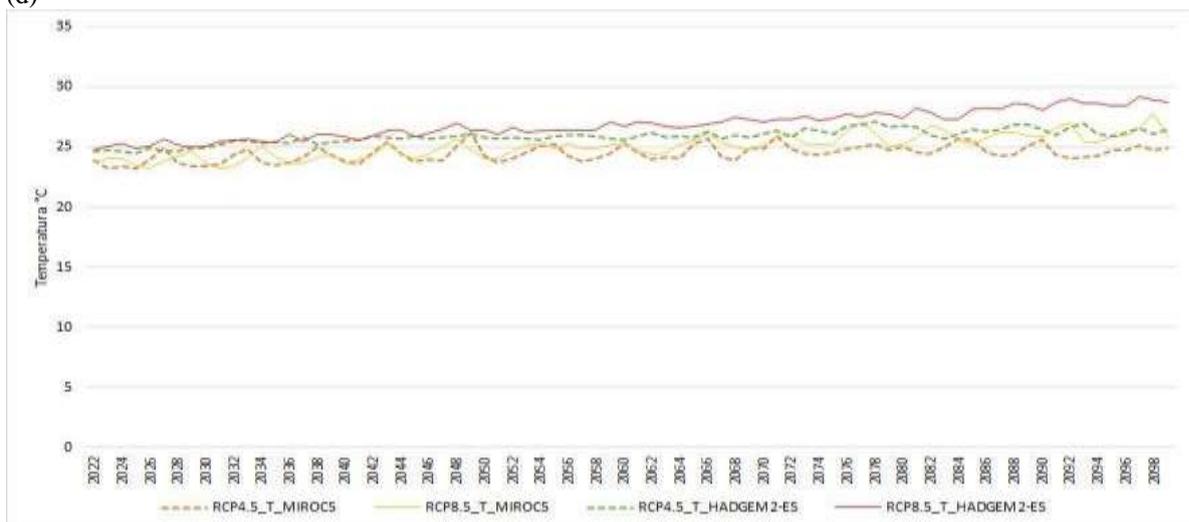
(b)



(c)



(d)



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do banco de dados PROJETA.

4.2 Análise das transformações do uso e ocupação da terra da Bacia hidrográfica do rio Beberibe dos períodos de 1990, 2000, 2010 e 2019

O levantamento do uso e ocupação da terra é de grande importância para o conhecimento da dinâmica do espaço geográfico, visto que, devido ao uso desordenado do solo, recurso tão caro à humanidade, temos observado a deterioração do mesmo, junto a degradação do meio ambiente.

É salutar o conhecimento da distribuição espacial das principais atividades de uma região e a compreensão da essência de sua relação com as formas de ocupação, tendo em vista que o grau de intensidade desses processos será responsável pela maior ou menor degradação do meio.

Cenários de tendências no crescimento populacional e nas mudanças do uso e ocupação da terra são fundamentais para que se avaliem os impactos da urbanização perante as redes de drenagem e as vegetações (NEVES e TUCCI, 2008). O uso das geotecnologias para analisar o espaço tem se tornado um excelente auxílio para gestão bem como elaboração de planos diretores de cidades.

Desde as primeiras ocupações nas cidades de Olinda e Recife, a bacia do Beberibe atravessou diferentes fases de uso e ocupação do solo, apresentando diferentes causas de sua variação espaço-temporal, incluindo desde mudanças nos recursos hídricos à vegetação e consequentemente na área urbana da bacia.

A Tabela 4 apresenta a comparação da área (%) para cada classe temática de uso e cobertura da terra do ano de 1990, 2000, 2010 e 2019. E isto, resultou em quadro mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Beberibe para os anos supracitados.

Tabela 4 - Quantificação das Classes Temáticas do ano de 1990, 2000, 2010 e 2019

Classes temáticas	Área (%) em 1990	Área (%) em 2000	Área (%) em 2010	Área (%) em 2019
Agricultura	7	6	4	3,5
Área Urbana consolidada	24	28	35	38
Área Urbana em Consolidação	17	15	11	13
Campo Antrópico	6	8	9,5	7,5
Mangue	5	4,5	4	4
Vegetação	41	38,5	36,5	34

Fonte: Elaborado pela autora.

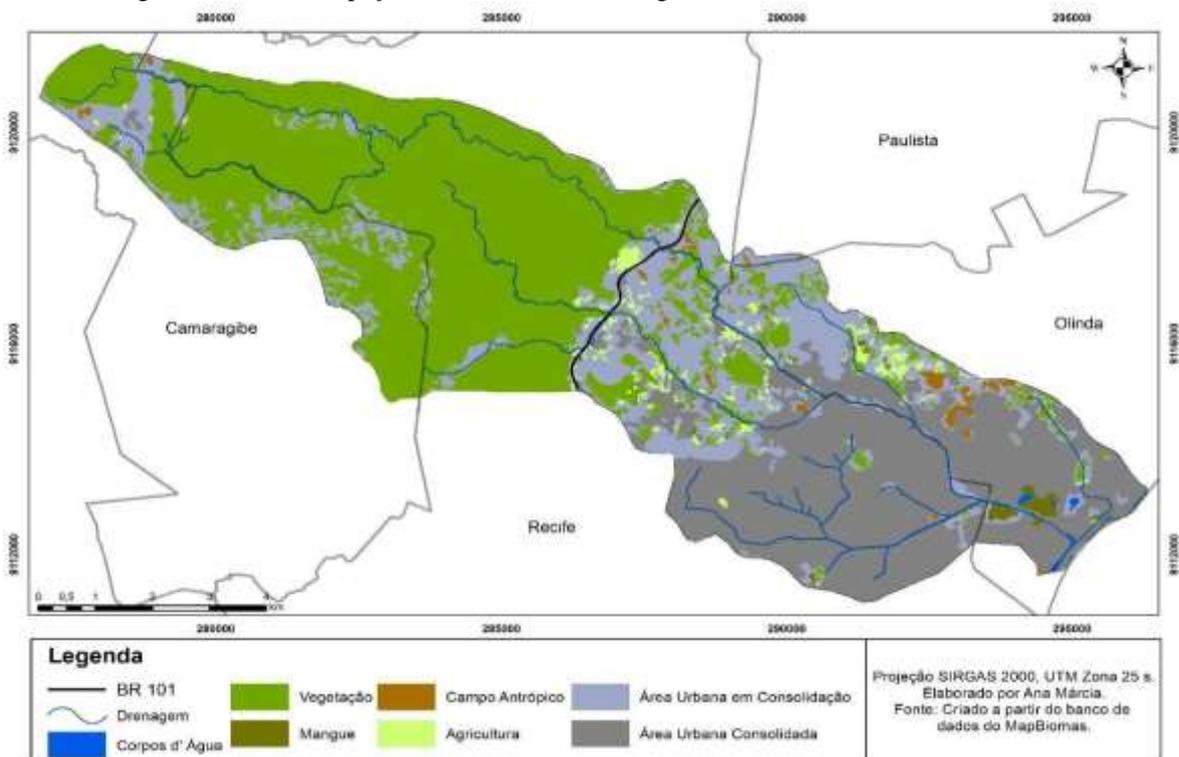
Ao realizar a quantificação das classes na Tabela 4, é possível observar detalhadamente diferenças consideráveis quanto à extensão da cobertura e as modificações do uso e cobertura da terra. Percebe-se que houve redução na classe de vegetação natural e água e aumento da área, não sendo observado variação significativa para o campo antrópico.

A análise espacial do uso e ocupação da terra na bacia tornou-se um aspecto fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço (ROSA, 2009).

De acordo com a Tabela 4 o ano de 1990 evidencia a predominância da classe de vegetação com cerca de 41%, seguida pela classe de área urbana consolidada com 24%, o que pode ser confirmado pela Figura 18.

Além disso, observa-se que a área a montante da bacia apresenta uma área de vegetação consolidada, com pouca influência antrópica. A presença da agricultura também pode ser evidenciada, sendo que nesse ano ela é superior aos demais da análise.

Figura 18 - Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Beberibe do ano de 1990



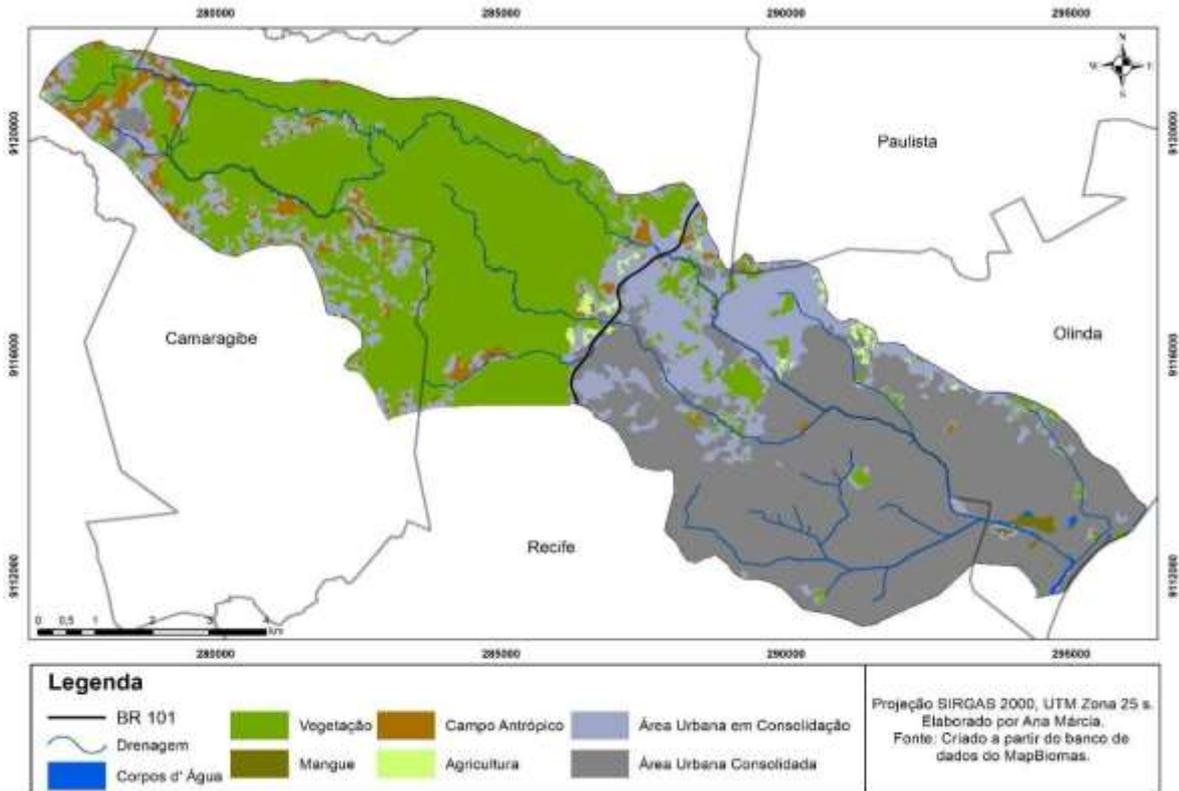
Fonte: Elaborado pela autora.

Ainda, na Tabela 4 para o ano de 2000 é possível observar um acréscimo bem como um decréscimo das classes.

A classe de vegetação teve uma perda de 2,5% da área apresentada em 1990, seguida pelas classes de agricultura, área urbana em consideração e a área de mangue. As únicas classes

que obtiveram um aumento em seu perceptual foram a área urbana consolidada com um aumento de 4% referente ao ano de 1990 e o campo antrópico com 1% a mais de área (Figura 19).

Figura 19 - Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Beberibe do ano de 2000

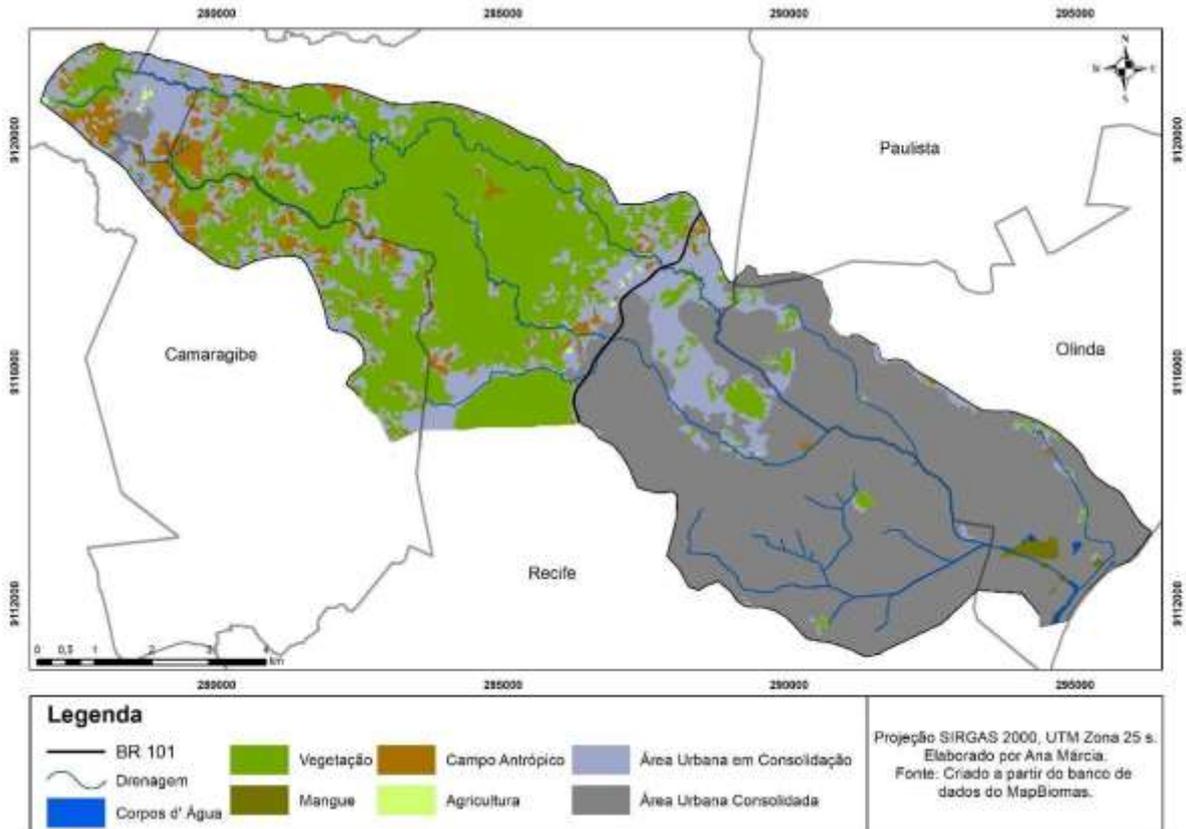


Fonte: Elaborado pela autora.

Como observado na Tabela 4, a classe de agricultura, vegetação, mangue e área urbana em consolidação decresceu no ano de 2010 em relação aos dados apresentados no ano de 2000. Tendo somente a classe de área urbana consolidada e campo antrópico com uma porcentagem superior ao do último ano apresentado, sendo que a primeira classe mencionada apresentou um aumento significativo de 7%.

Na Figura 20 é observa-se a análise espacial das classes em relação aos anos aqui já apresentados e observa-se o crescimento espacial da área urbana bem como a supressão da vegetação.

Figura 20 - Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Beberibe do ano de 2010



Fonte: Elaborado pela autora.

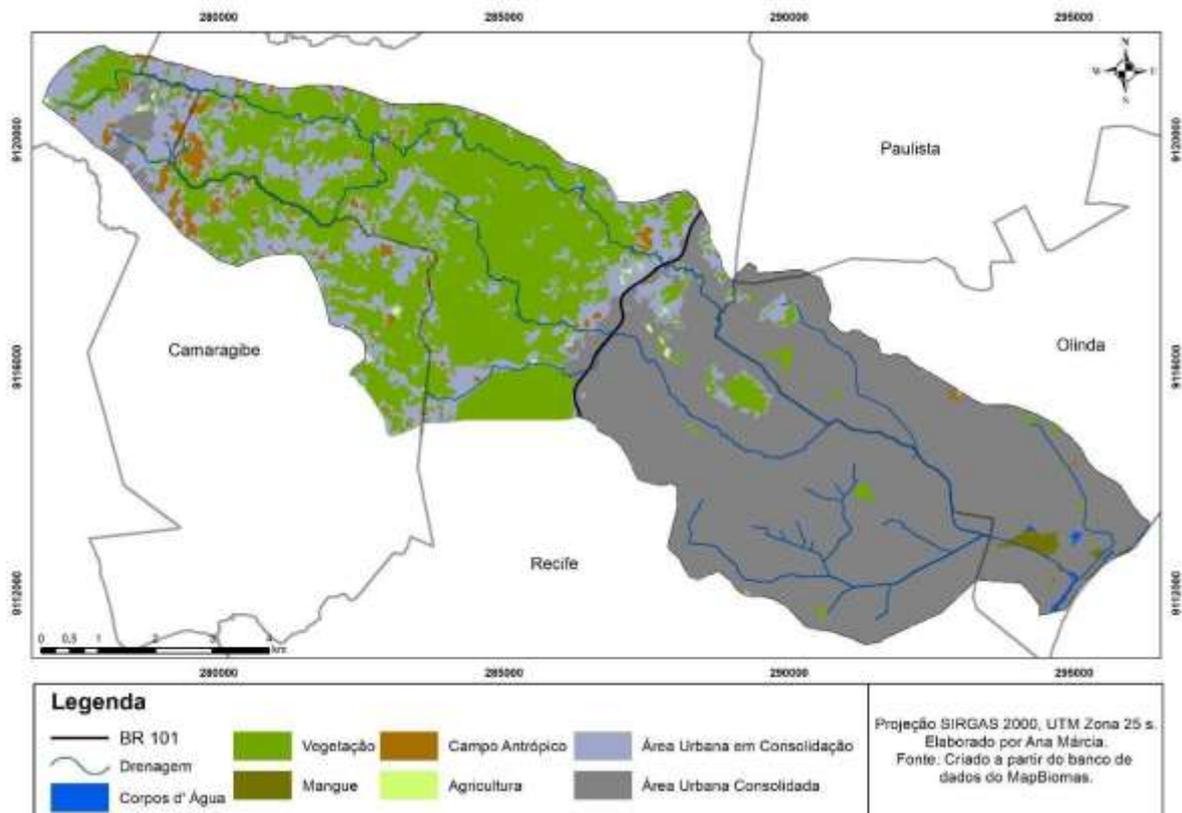
O ano de 2019, é o último da análise do uso e ocupação da bacia. Desse modo, nesse último ano é possível evidenciar toda a mudança que a área de estudo sofreu desde o ano de 1990 até o ano de 2019.

A classe com maior representatividade no ano de 2019, ainda continua sendo a classe da área urbana consolidada, que em todos os anos da análise sempre apresentou percentuais de crescimento. De 1990 a 2019 essa classe teve um aumento de 14%. Ainda nesse mesmo ano é possível evidenciar a perda da vegetação em 6% para as outras classes de influência.

A Figura 21 confirma a evolução de classes na bacia do rio Beberibe. Entretanto, também confirma a diminuição se comparado com os anos da análise.

A montante da bacia, especificamente no médio curso é possível observar um decréscimo das áreas de vegetação ou campo antrópico existentes. Já no alto curso da bacia as áreas urbanas em consolidação ganharam muito espaço, o que resultou em uma perda ainda maior de vegetação.

Figura 21 - Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do rio Beberibe do ano de 2019



Fonte: Elaborado pela autora.

A análise multitemporal realizada na bacia do rio Beberibe revelou que desde a década de 70 a bacia já estava fortemente ocupada, como apontado por Campos (2003). Em 1990 a 2019 a ocupação antrópica se intensificou ainda mais, entretanto a área de vegetação ainda permanece preservada apesar de perdas no decorrer dos anos.

Sendo assim, o uso e ocupação do solo impactam ambientalmente as bacias hidrográficas, gerando diminuição da cobertura vegetal, erosão, poluição dos solos e da água, assim como alteração do microclima da região (SCHIVAETTI; CAMARGO, 2002; LIMA, 2004).

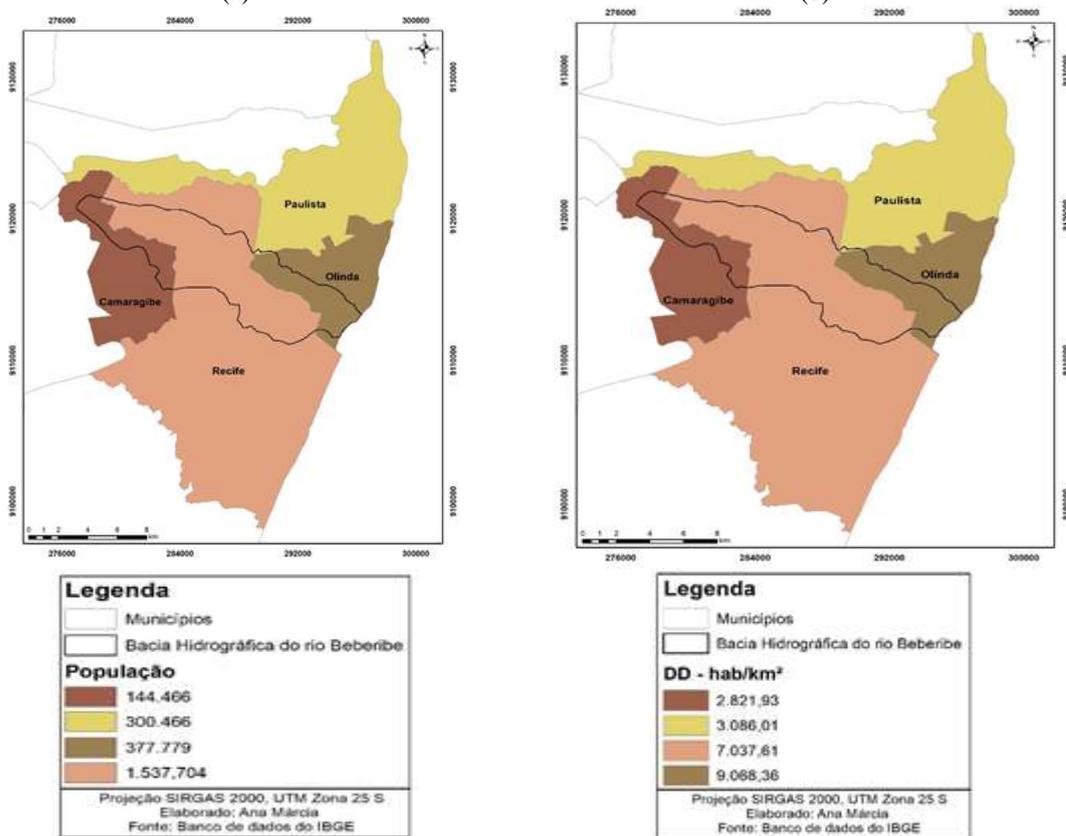
4.3 Análise do índice de vulnerabilidade socioambiental da população

A avaliação da vulnerabilidade urbana no Brasil realizada por Ribeiro (2010) aponta que o rápido processo de urbanização irregular no país, resultante de trabalhadores migrantes que, sem alternativa de renda, ou com valores baixos, não conseguem pagar pela moradia nas cidades brasileiras.

Como alternativa, ocupam áreas consideradas inadequadas e se expõem com muita frequência a situações como: deslizamento de barreiras, inundações e alagamentos, que muitas vezes ocasionam até perdas de vida.

A situação da população da bacia hidrográfica do rio Beberibe está apresentada considerando as informações sociais gerais das cidades que comportam a bacia. Desse modo a distribuição da população e a densidade demográfica está demonstrada na Figura 22, a qual revela que a cidade do Recife como a mais populosa, sendo superior em relação a Olinda, Camaragibe e Paulista. Entretanto, a cidade que detém a maior Densidade Demográfica (DD) é Olinda, seguida pela cidade de Recife.

Figura 22 - (a) Distribuição espacial da população, (b) Densidade Demográfica

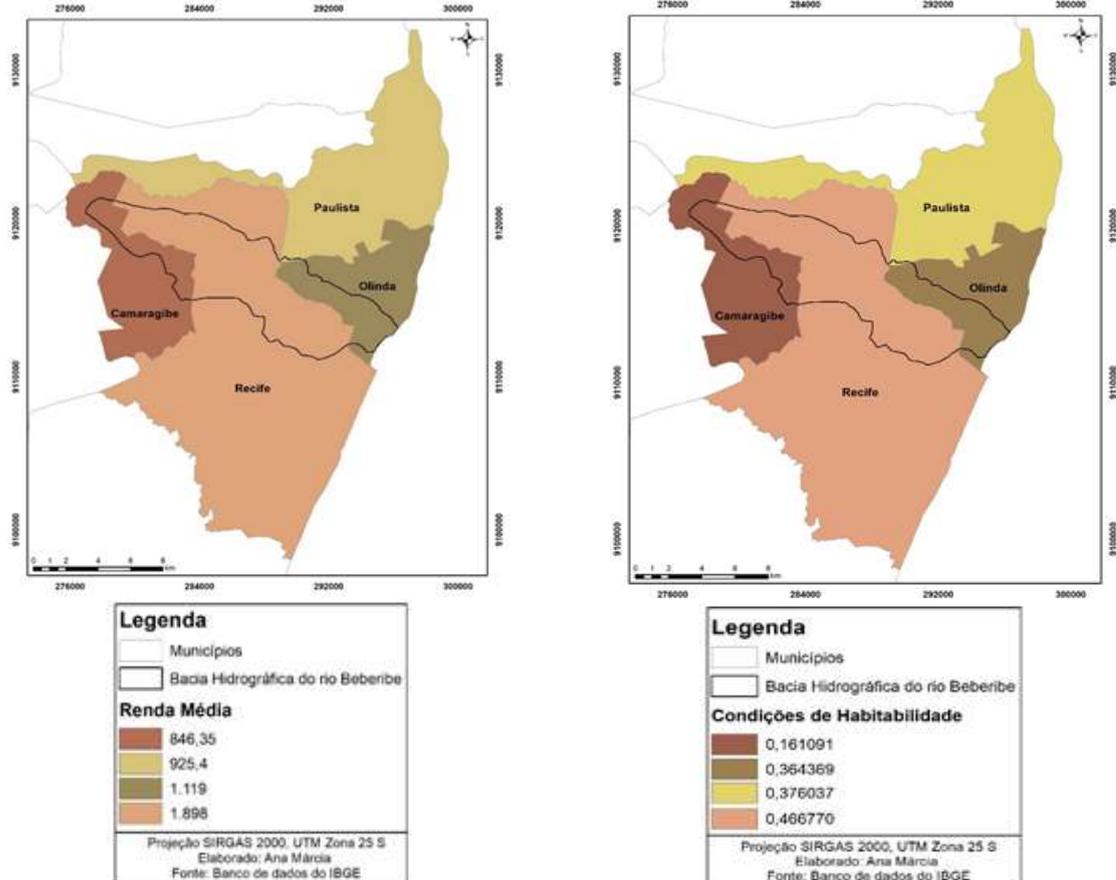


Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 23 apresenta a Renda Média (RM) espacialmente para cada cidade da bacia. Os maiores números de salários são observados na cidade do Recife, pois nesta cidade se concentra uma grande quantidade de empresas bem como a taxa mais alta de população. A renda média em Recife é superior a um salário mínimo, e também em relação às demais cidades. Camaragibe detém o valor da renda média mais baixa, sendo inferior a um salário mínimo atual.

Além disso, a renda média reflete a condição de habitabilidade da população. A cidade de Recife apresenta a melhor condição de habitação. E isto reflete nos serviços de infraestrutura básica (abastecimento de água, esgotamento sanitário, destino do lixo) disponíveis, entre outros aspectos que determinam a condição da habitabilidade como segurança e rede de saúde.

Figura 23 - (a) Distribuição espacial da Renda Média, (b) Condição de habitabilidade



Fonte: Elaborado pela autora.

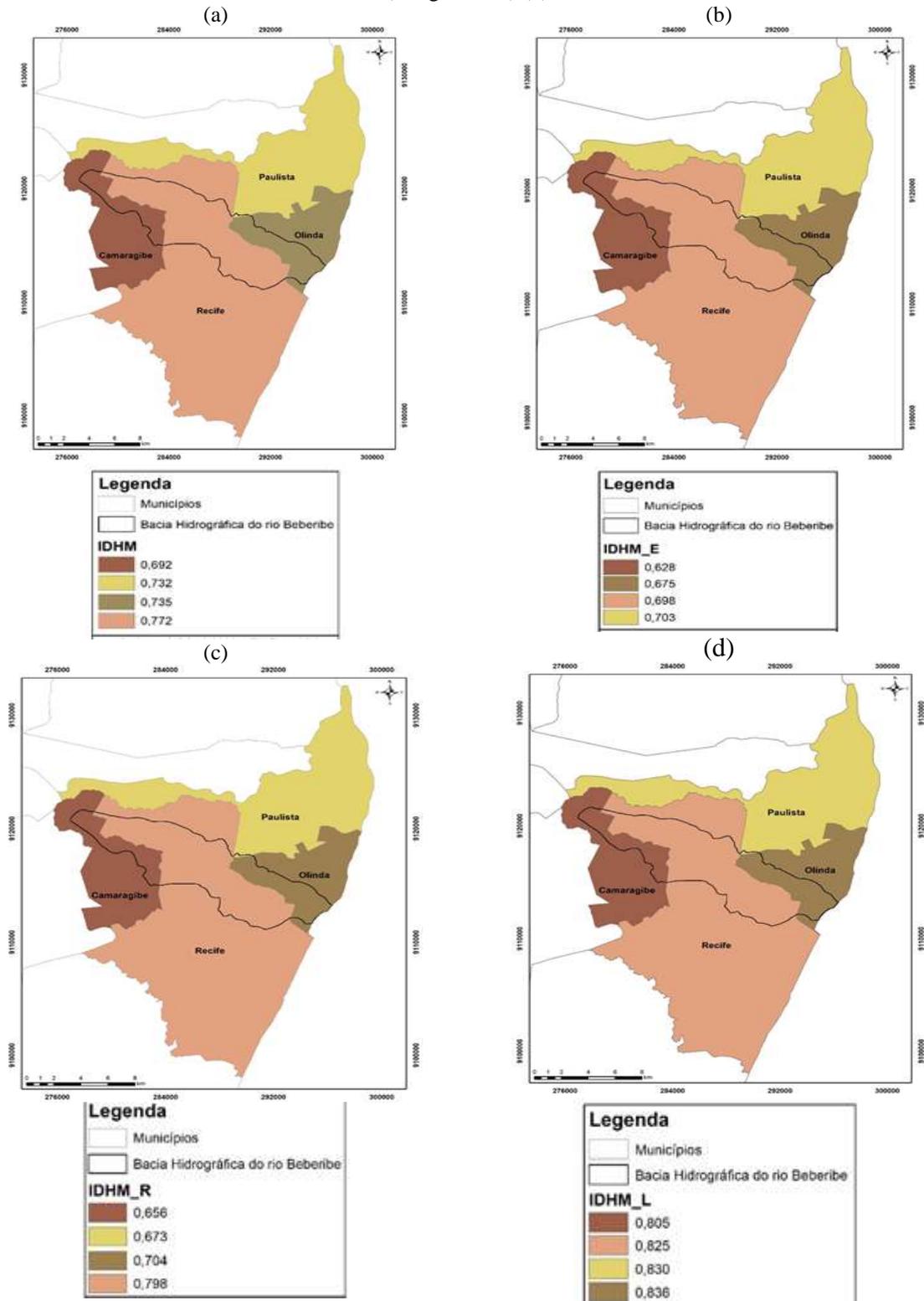
Sobre o IDHM das cidades que comportam a bacia temos que, quando o índice for mais próximo de 0 (zero) menor o desenvolvimento humano e quanto mais próximo de um maior será o desenvolvimento humano.

Dessa maneira, temos a Figura 24 apresentando os índices do IDHM variando de 0,692 a 0,772. A cidade do Recife detém o melhor índice com o percentual mais próximo a 1 (um), coincidindo com os melhores salários e a melhor condição de habitação.

Ademais, as cidades de Olinda, Paulista e Camaragibe seguem com um IDHM superior a 0,6 coincidindo também com a renda média por cada cidade apresentada. O IDHM é o índice de desenvolvimento humano Municipal, ainda apresentaremos os três subíndices, referentes às

dimensões Longevidade (IDH-L), Educação (IDH-E) e Renda (IDH-R) por cada cidade de acordo com o IBGE.

Figura 24 - Distribuição espacial do IDHM (a), IDH-E (Educação) (b), IDH-R (Renda) (c) e IDH-L (Longevidade) (d)



Fonte: Elaborado pela autora.

Há uma grande similaridade visual entre os mapas, destacando-se o de IDH-E que traz a cidade de Paulista com o melhor índice de educação, sendo superior ao das demais cidades da bacia. Dessa maneira, Paulista apresenta taxa de alfabetização de pessoas com quinze anos ou mais de idade que já concluiu o ensino fundamental. Bem como uma taxa de escolarização independentemente da idade, matriculadas em algum curso, seja ele fundamental, médio ou superior.

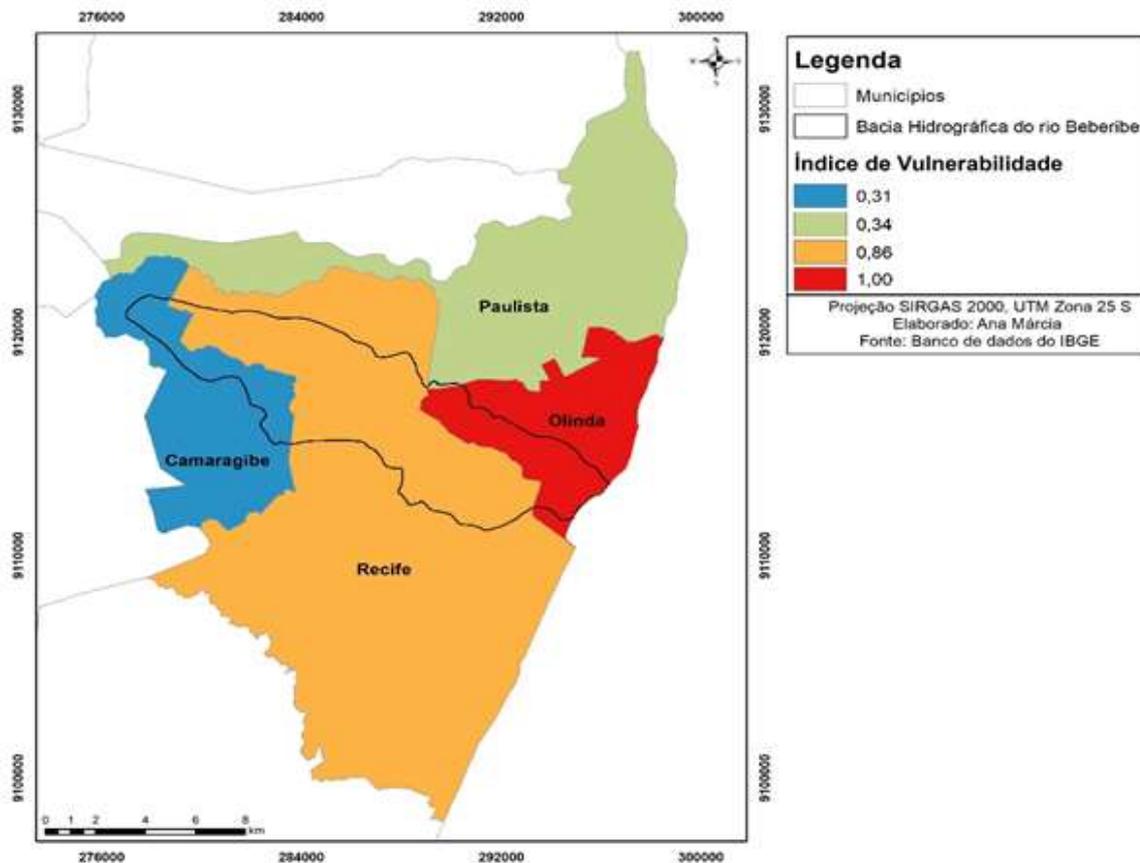
Em relação ao índice de renda, não houve mudança sobre até aqui apresentando, a cidade de Recife detém o número de renda superior da bacia.

Sobre a expectativa de vida ao nascer é apresentado no IDH-L. Esse indicador mostra a quantidade de anos que uma pessoa nascida em uma localidade, em um ano de referência, deve viver refletindo as condições de saúde e de salubridade no local. A cidade de Olinda e Paulista detém os melhores índices.

A distribuição espacial das variáveis do IBGE para o cálculo do índice de vulnerabilidade foi obtida após o resultado do cálculo ser feito para cada cidade que compõem a bacia.

Desse modo, a distribuição espacial da vulnerabilidade está demonstrada através da Figura 25, cuja vulnerabilidade foi classificada de acordo com Souza et al. (2014) em muito alta, alta e moderada, pois o índice deve variar de 0 a 1 de acordo com Marcelino et al. (2006).

Figura 25 - Distribuição espacial do índice de vulnerabilidade da bacia hidrográfica do rio Beberibe



Fonte: Elaborado pela autora.

Sendo assim, temos o índice de vulnerabilidade apresentando-se superior na cidade Olinda com um índice muito alto, logo após temos a cidade do Recife com um índice alto e as cidades de Camaragibe e Paulista apresenta-se na classe moderada, com um percentual inferior a 0,5.

Conforme Ribeiro (2010) que discute a necessidade de definir indicadores que apontem com mais clareza como ocorre a distribuição dos índices de vulnerabilidade nas cidades do Brasil, pois está relacionada com a ausência do Estado e a forma de ocupação desordenada da população de baixa renda, que vive em áreas de risco por falta de alternativa dada a incapacidade de pagar para morar em condições adequadas, criando e aumentando o seu próprio risco aos desastres associados, principalmente às chuvas.

Percebe-se claramente que é comum a ocorrência de desastres nas cidades que comportam a bacia do Beberibe, principalmente desastres relacionados à precipitação pluviométrica.

Diante das análises, constatou-se que mais de 80% da bacia é muito vulnerável a ocorrência de desastres, com destaque para as cidades de Olinda e Recife, indicando que caso ocorra um desastre estas áreas são as mais propensas a terem um maior número de pessoas

afetadas, pois além das condições sociais, econômicas e ambientais, são nessas áreas que se concentram a maior parte da população bem como a maior parte da área total da bacia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A distribuição espacial da pluviosidade ocorrida na bacia, no período em estudo, apresentou um padrão pluvial bem definido com índices pluviométricos mais elevados à jusante da bacia, enquanto os menores índices foram observados a montante.

Partindo desses pressupostos, é possível entender que o clima, enquanto um sistema interage com todos os elementos que constituem a superfície (relevo, vegetação, cidade, agricultura, etc.) e, possivelmente, as configurações dos dados apresentados neste trabalho produziram um determinado tipo de clima, conseqüentemente, um padrão particular da variabilidade das chuvas na bacia.

Através deste estudo pode-se verificar que entre os períodos há uma certa estabilidade dos valores de precipitação, havendo variação da tendência para um acréscimo e decréscimo das precipitações pluviais mensais bem como anuais dependendo da atuação dos sistemas e dos dados coletados. Os meses de abril a julho são os mais chuvosos da bacia. Sendo assim, os valores médios de precipitação decadal indicam que em todos os períodos estiveram próximos à média observada para região, e que o período de 1990 a 2019 se destacou por apresentar os 9 postos na análise, diferente dos períodos anteriores.

Ainda, em relação a cenários climáticos, para a precipitação, no ano 2022 a 2099 os modelos aplicados para as cidades são semelhantes nas variáveis. As precipitações apresentaram tendências variáveis, oscilando de 2 mil mm até 4 mil mm dentro dessa série, bem como a temperatura com valores de 24 °C até aproximadamente 30° C no fim do século XXI.

Além disso, é frequente a ocorrência de desastres associados às chuvas na RMR, e principalmente associadas à falta de infraestrutura das cidades, aliados às condições sociais e econômicas da população mais pobre, cujos problemas são agravados pela sociedade, devido à falta de percepção e educação em relação ao meio, quando jogam lixo nas ruas, nos canais, etc, contribuindo para entupir os bueiros e conseqüentemente os alagamentos e inundações. É importante mencionar, que mais de 80% na área da bacia foi classificada com um índice de vulnerabilidade moderado, alto e muito alto para desastres.

A utilização de cenários temporais de uso e cobertura da terra para os anos estudados de 1990, 2000, 2010 e 2019, mostrou-se satisfatória para avaliação e análise das modificações e identificação das trajetórias das classes do uso.

No Brasil, o planejamento urbano teve pouca atuação prática, se pautou basicamente por uma ocupação sem diretrizes e sem planejamento. Desse modo, a utilização das ferramentas

do SIG é de suma importância para a classificação do uso e cobertura do solo da bacia, bem como, se tornam essenciais para o planejamento e gestão dos recursos naturais.

Desta feita, concluímos que a ação antrópica de 1990 a 2019 mudou consideravelmente a paisagem natural, comprovado pelo mapeamento realizado, onde a área urbana teve um aumento de 14% e a vegetação uma perda de 6% de área.

Sendo assim, mais estudos são necessários para melhor definir os padrões climáticos bem como de uso e ocupação e os aspectos socioambientais da população, a fim de propor políticas públicas consistentes. Tendo como intuito subsidiar a tomada de decisões em relação ao meio ambiente e a sociedade para que seja possível realizar um desenvolvimento sustentável na bacia hidrográfica do rio Beberibe.

REFERÊNCIAS

- ACQUA-PLAN. Plano de Controle de Enchentes na Bacia do Beberibe: Caracterização de uma solução global. Recife: **FIDEM**, 1975. 267 p.
- ALBUQUERQUE, A. R. C. **Bacia Hidrográfica: Unidade de Planejamento Ambiental**. 9p. Manaus. 2012.
- ALEXANDER, D. 1993: **Natural disasters**. New York: Chapman & Hall.
- ALMEIDA, R.; REBELLO, E.; AMBRIZZI, T. Variabilidade de eventos extremos e identificação de tendências climáticas no litoral Norte do Brasil. In: **XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Belém, 2010.
- ALMEIDA. M. C. J.; FREITAS. C. G. L. Uso do Solo Urbano: Suas Relações com o Meio Físico e Problemas Decorrentes. Simpósio brasileiro de cartografia geotécnica, 2, 1996. São Carlos. **Anais**. São Carlos: ABGE, 1996. P. 195-200.
- ANTONELI, V; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. **Rev. Caminhos da Geografia, Uberlândia**, v.8, n.21, p46-58, jun. 2007.
- APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. Dados climatológicos. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/>. Acesso em: 23 de abril de 2020.
- BLAIKIE, P., Cannon, T. Davis, I. and Wisner, B. 1994. **At risk: natural hazards, people's vulnerability, and disasters**. London: Routledge
- BLAIKIE, P; CANNOT, T.; DAVIS, I. e WISNER, B, 1996. **El Desafio de Los Desastres y nuestro**. Enfoque: In: Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres. Colombia: ITDG/LA RED, 374p.
- BOGARD, W. C. 1989: **Bringing social theory to hazards research: conditions and consequences of the mitigation of environmental hazards**. Sociological Perspectives 31, 147-68.
- BOHLE, H. G. Downing, T. E. and Watts, M. J. 1994: **Climate change and social vulnerability**: the sociology and geography of food insecurity. Global Environmental Change 4, 37-48.
- BOTELHO, R. G. M, Bacias Hidrográficas Urbanas in **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 85, 2011.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. **Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos do Estado de Pernambuco**. V. 1. Recife: EMBRAPA, 2000.
- CABRAL, J. J. S. P., ALENCAR, A. V., 2005. Recife e a convivência com as águas, in: Cooperação Brasil - Itália em saneamento ambiental, Gestão do território e manejo integrado das águas urbanas, ed. **Gráfica Brasil. Brasília – DF**.

CAMPOS, H. L. **A bacia hidrográfica do Beberibe: um enfoque ambiental.** 1991. Dissertação (mestrado em geografia). Departamento de ciências geográficas. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1991.

CAMPOS, H. L. **Processo Histórico de Gestão na Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe (PE): uma Retrospectiva.** Tese (Doutorado). Programa de Pós- Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). 2003.

CARDONA, O. D. **La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. 2001. Chapter 3 of the book “Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People”** 2003 G. Bankoff, G. Frerks D. Hilhorst (ED, Earthscan Publishers, London.

CARVALHO, L. M.; JONES, C.; AMBRIZZI, T. Opposite phases of the antarctic oscillation and relationships with intraseasonal to interannual activity in the tropics during the austral summer. **Journal of climate**, v. 18, n. 5, p. 702-718, 2005.

CARVALHO, L. M. V., C. Jones. B. Liebmann. 2004: The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, relationships with intra-seasonal to inter-annual activity and extreme rainfall. *J. Climate*. 17. 88-108.

CASTRO, A. L. C. **Manual de Desastres: desastres naturais.** Brasília: Imprensa Nacional, 1996. 182 p.

CASTRO, C. M. et.al. Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ.** Vol. 28-2 / 2005 p. 11-30. Disponível em

CASTRO, S. D. A. R.; Peligros: Una visión desde la geografía. In: **Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**, n 60, 15 de mar 2000.

CAVALCANTI, R. M. S. **Indicadores Geomorfológicos, Riscos e o Planejamento Urbano: uma apreciação teórico integradora para a cidade do Recife – PE.** 2012. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2012.

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

CEPED. **Centro de Estudos e Pesquisa em Engenharia e Defesa Civil.** 2010. Disponível em < <http://www.ceped.ufsc.br/category/grandes-desastres/> > Acesso em 10 abril de 2020.

CORRÊA, A. C. B. Unidades geoambientais do Recife. Trabalho apresentado na disciplina Metodologias de Pesquisa em Geografia Física. Recife, Departamento de Ciências Geográficas, UFPE, 2004. 7 p. (mimeogr.).

CHOU, S. C, LYRA, A. MOURÃO, C. DEREZYNSKI, C., PILOTTO, I., GOMES, J., BUSTAMANTE, J., TAVARES, P., SILVA, A., RODRIGUES, D., CAMPOS, D., CHAGAS, D., SUEIRO, G., SIQUEIRA, G., NOBRE, P. and MARENGO, J. (2014) Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. *American Journal of Climate Change*, 3, 438-454. doi:10.4236/ajcc.2014.35039. Disponível em < http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=52887#.VakHg_IViko>. Acesso em 04 de julho de 2021.

CHOU, S.C, Lyra, A. MOURÃO, C. DERECZYNSKI, C. , PILOTTO, I. , GOMES, J. , BUSTAMANTE, J. , TAVARES, P. , SILVA, A. , RODRIGUES, D., CAMPOS, D. , CHAGAS, D. , SUEIRO, G. , SIQUEIRA, G. AND MARENGO, J. (2014) **Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios**. American Journal of Climate Change,3, 512-527. Disponível em < http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=52877#.VakIh_IVikp>. Acesso em 04 de julho de 2021.

CHOU, S. C.; et al (2012). **Downscaling of south America Present Climati Driven by 4-Member HADCM3 runs**. Climate Dynamics, 38: 635-653.

CHOU, S. Análise de distúrbios ondulatórios de leste sobre o oceano Atlântico Equatorial Sul. INPE – 5222 – TDL / 437. (Dissert. Mestr.), 1990.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2: ed. São Paulo, Ed. **Edgard Blucher Ltda**.1980.

CLIMATE-DATA.org. 2019. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/> > Acesso em: 10 de abril de 2020.

CPRH, Agência Estadual de Meio Ambiente. **Relatório do Monitoramento da Qualidade das Águas das Bacias Hidrográficas de Pernambuco**. Recife: CPRH, 2018.

CUTTER, S. L. VulnerabilitytoenvironmentalhazardsProgress in HumanGeography, v. 20, n 4, p 529-539, 1996.

CUTTER, S.L. 1993: **Living with risk**. London: Edward Arnold.

CUTTER, Susan L.; BORUFF, Bryan J.; SHIRLEY, W. Lynn. Social vulnerabilitytoenvironmentalhazards. **Social sciencequarterly**, v. 84, n. 2, p. 242-261, 2003.

CUTTER, L. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores, Revista Crítica de Ciências Sociais [Online], 2011.

DOW, K. and Downing, T.E. 1995: **Vulnerability research**: where things stand. Human Dimensions Quarterly 1, 3-5.

DOW, K. **Exploring differences in our common future(s)**: the meaning of vulnerability to global environmental change. Geoforum 23, 417-36, 1992.

DOWNING, T.E. **Assessing socio-economic vulnerability to famine**. A report to the US Agency for International Development (AID), Famine Early Warning System (FEWS) Project. Washington, DC: AID/FEWS, and Providence, RI: Alan Shawn Feinstein Hunger Program, Brown University, 1991.

EM-DAT. CRED Crunch 54 - Disasters 2018: Year in Review. **Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2019**. Disponível em: <https://www.emdat.be/publications>. Acesso em 11 de maio 2020.

EM-DAT. CRED Crunch 58 - Disaster Year in Review (2019). **Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2010**. Disponível em: <https://www.emdat.be/publications>. Acesso em 11 de maio 2020.

EM-DAT. Emergency Events Database. **The OFDA/CRED International Disaster Database**. Disponível em: <http://www.emdat.be/maps-2015>. Acesso em 12 de ago. 2020.

FERREIRA, N. J; RAMÍREZ, M. V; GAN, M. A. (2009). **Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil** (p.43-59). In: Cavalcanti, I. F. A. et al (org.). Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Texto.G1. G1 Notícias. Disponível em: <http://g1.globo.com/brasil/noticia/2010/06/chuvas-causam-13-deslizamentos-de-terra-no-recife.html>. Acesso em: 08/Jan/2021.

FIDEM. Fundação de Desenvolvimento Municipal. Plano Estruturador: Bacia do Beberibe – Plano Final. Diretoria de Planejamento e Desenvolvimento Metropolitano, Recife, 2000.

GABOR, T. and Griffith, T.K. 1980: **The assessment of community vulnerability to acute hazardous materials incidents**. Journal of Hazardous Materials 8, 323-33.

GIRÃO, Osvaldo. **Análise de Processos Erosivos em Encostas na Zona Sudoeste da Cidade do Recife – Pernambuco**. 305 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, CCMN, Rio de Janeiro, 2007.

GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia Urbana**. A. J. T. GUERRA (Org) - Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, A. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 648 p. 2005.

GUNTHER, H. Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão? In: **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 22, n. 02, 201-210, 2006.

HUMMEL, M. **Desastres naturais e vulnerabilidades socioambientais: o caso de Curitiba/Paraná**, Beatriz; 2009.

HÖLBIG, C.; MAZZONETTO, A.; BORELLA, F.; PAVAN, W.; FERNANDES, J.; CHAGAS, D.; GOMES, J. CHOU, S. PROJETA platform: accessing high resolution climate change projections over Central and South America using the Eta model. *Agrometeoros*, v. 26, n. 1, p. 71-81, jul. 2018.

IBGE. **Manual Técnico de Uso a terra. Manuais técnicos em geociências**. 2013.

IBGE, 2005, “A Vulnerabilidade a Desastres Naturais”. In: **Perfil dos municípios brasileiros: meio ambiente 2002**, Rio de Janeiro, Brasil.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico: Aglomerados subnormais: primeiros resultados**. Rio de Janeiro, 2010.

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática (SIDRA). Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 28 jan. 2020.

IBGE. (2019). *Estimativa de população*. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001. **Climate Change 2001: impacts, adaptation and vulnerability**. Genebra.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE: **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, p. 151.

IPCC, 2007: Climate change 2007: The physical Science basis. In: Contribution of working group I to the assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 996 pp.

IPCC. Working Group I Contribution To The Ippc Fifth Assessment Report Climate Change 2013_: THE PHYSICAL CIENCEBASIS. Stockholm: [s.n.].

IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report, 2014.

JHA, A. K.; BLOCH, R.; LAMOND, J. Cidades e inundações: um guia para a gestão integrada do risco de inundação urbana para o século XXI. The World Bank, 2012.

KATES, R.W. Cautionary tales: adaptation and the global poor. *Climatic Change*, Netherlands, n.45, p.5-17, 2000.

KATES, R. **The interaction of climate and society**. In Kates, R.W. , Ausubel, J.H. and Berberian, M. , editors, Climate impact assessment, SCOPE 27, New York: Wiley, 3-36, 1985.

KLEIN TANK, A. M. G. K.; KONNEN, G. P.. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99. **Journal of Climate**, 16, 3665-3680, 2003.

KÖPPEN, W. **The Climates of Nort America**. R. Handbuch der Klimatologie, Berlim, 1948.

KRON, W., THUMERER, T., 2002, **Water-related Disasters: Loss Trends and Possible Countermeasures from a (Re-)Insurers Point of View**. Munich Reinsurance Company, Germany.

LIMA, F. L. **Comportamento Geomecânico e Análise de Estabilidade de uma Encosta da Formação Barreiras na Área Urbana da Cidade do Recife**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPE, 2002.

LIMA, J. B. M. **Estudo de redes de monitoramento de qualidade de água superficiais – o caso da Bacia do Rio Descoberto**. 2004. 112f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídrico) - Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

LIMA, W.P.; ZAKIA M.J.B. **Hidrologia de matas ciliares**. In: RODRIGUES; R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) Matas ciliares: conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2000. p.33-43

LYRA, A., TAVARES, P., CHOU, S.C., SUEIRO, G., DEREZYNSKI, C.P., SONDERMANN, M., SILVA, A., MARENGO, J., GIAROLLA, A. 2017. **Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution Theor Appl Climatol**. Disponível em <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-017-2067-z>. Acesso em 04 de julho de 2021.

LIVERMAN, D. **Vulnerability to global environmental change**. In Kasperson, R.E. , Dow, K. , Golding, D. and Kasperson, J.X. , editors, Understanding global environmental change: the contributions of risk analysis and management, Worcester, MA: Clark University, The Earth Transformed Program, 27-44, 1990.

LOUREIRO, R.; SARAIVA, J. M.; SARAIVA, I. SENNA, R.; FREDO, A. S. Estudo dos eventos extremos de precipitação ocorridos em 2009 no estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 29, n. esp., p. 83-94, dez. 2014.

MAGALHÃES, C. R. **Bacia Hidrográfica como referência de planejamento e expansão urbana para as cidades do século XXI**. 2013. 223 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MAGALHÃES, I.A.L.; THIAGO, C.R.L.; AGRIZZI, D.V.; SANTOS, A.R. **Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos**. Cadernos de 69 Geociências, Disponível em: < www.cadernosdegeociencias.igeo.ufba.br>, v. 8, n. 2, nov. 2011.

MARANDOLA, E; HOGAN, D. J. **As dimensões da vulnerabilidade**. São Paulo em Perspectiva, v. 20, n. 1, p. 33-43, jan./mar. 2006

MARCELINO, E. V. **Desastres naturais e geotecnologias: Conceitos Básicos**. São José dos Campos: Inpe, 2008. 38 p.

MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H. e KOBİYAMA, M., 2006. **Mapeamento De Risco De Desastres Naturais Do Estado De Santa Catarina**. Caminhos de Geografia 8 (17) 72 - 84, fevereiro.

MARCELINO, E. V.; RUDORFF, F. M.; MARCELINO, I. P. V. O.; GOERL, R. F.; KOBİYAMA, M. Impacto do Furacão Catarina sobre a região sul catarinense: monitoramento e avaliação pós-desastre. **Geografia**, v. 30, n. 3, 2005.

MARCELINO, E.V. Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **INPE Santa Maria**, 2007. Disponível em: <http://www.inpe.br/crs/geodesastres/imagens/publicacoes/conceitosbasicos.pdf>. Acessado em 12 de maio de 2020.

MARCELINO, E. V., NUNES, L. H., KOBİYAMA, M. Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina. Caminhos da Geografia (UFU), Uberlândia, v.7, n.17, p.72-84, 2006.

MARENCO, J. A. Impactos de Extremos Relacionados com o tempo e o clima - Impactos sociais e econômicos. Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas (GPMC). São Paulo, **Edição Especial**, nº 8, p. 1-5, maio de 2009.

MARENCO, J.; T. A. Use of regional climate models in impacts assessments and adaptations studies from continental to regional and local scales, The CREAS (Regional Climate Change Scenarios for South America) initiative in South America Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Iguagu, Brazil, April 24-28, pp. 291-296, INPE, 2006.

MARICATO, E. Brasil, cidades alternativas para a crise urbana. Petrópolis, Vozes, 2001.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e limas do Brasil**. Oficina de Texto, 2007.

MESSNER, F., MEYER, V., 2005, “**Flood Damage, Vulnerability and Risk Perception - Challenges for Flood Damage Research**”, *UFZ Discussion Papers*, n. 13.

MICHALAK, A. **Study role of climate change in extreme threats to water quality.** *Nature* 535, 349-352, 2016.

MITCHELL, J.K. **Hazards research.** In Gaile, G.L. and Willmott, C.J. , editors, *Geography in America*, Columbus, OH: Merrill, 410-24, 1989.

MONTEIRO, C.A.de F. **Clima e excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico.** Florianópolis: Ed. da UFSC, 1991. 241 p.

MONTEIRO. M. F.; SILVA, T. C. **Aspectos fluviais importantes para a fotointerpretação.** Salvador, Centro Editorial e Didático – UFBA, 1979.

MOREIRA, L. **Análise Do Impacto da Evolução Urbanística Sobre O Sistema de Drenagem Urbana** Universidade Federal do Espírito Santo. 2014.

MÜNCHENER, RÜCK. **Flooding and insurance.** Münchener Rückversicherungs Gesellschaft (Hrsg.), München (1997).

NEVES, M.; TUCCI, M. Resíduos sólidos e drenagem urbana: estudo de caso. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, n.4, p 43-54, 2008.

NOBRE, C. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima. In: MUDANÇA do clima: volume I: negociações internacionais sobre a mudança do clima: vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima. Brasília, DF: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2005. p. 147-216. (Cadernos NAE, 3)

OLIVEIRA, G. C. S; SILVA JUNIOR, J. P; NÓBREGA, R. S; GIRÃO, O. **Uma abordagem da geografia do clima sobre os eventos extremos de precipitação em Recife-PE.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, 238-251, 2011.

OLIVEIRA, M. Sistema Espacial de Apoio à Decisão: Modelos para análise do adensamento de atividades econômicas no espaço urbano. Dissertação de Mestrado, Escola de Governo de Minas Gerais da Fundação João Pinheiro, 1997.

ORTIZ, M. C. M. Minaçu e Recife: histórias de habitações e seus habitantes. São Paulo: Projeto, 1997. 185 p.

PARK, C.C. *Environmental hazards.* London: Macmillan Education Ltda, 1991. 62p.

PEÑARROCHA, D.; ESTRELA, M.J.; MILLÁN, M. Classification of daily rainfall patterns in a Mediterranean area with extreme intensity levels: the Valencia Region. *International Journal of Climatology*, n.22, p.677-695, 2002.

PBMC. Base científica das mudanças climáticas. Base científica das mudanças climáticas, 2014.

PIJAWKA, K.; RADWAN, A. **The transportation of hazardous materials: risk assessment and hazard management.** *Dangerous Properties of Industrial Materials Report* September/October, 2-11, 1985.

PINHEIRO, A. **Enchente e Inundação.** In: SANTOS, R. F. dos (org.) *Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?* Brasília: MMA, 2007. 192p.

PRATES, T. O. B. **Vulnerabilidade socioambiental nas áreas suscetíveis às inundações no baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Muriaé (RJ)**. 2019. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, SP.

PRATES, T. B.; AMORIM, R. R. **Vulnerabilidade Socioambiental das Áreas Sujeitas às Inundações no Município de São João Da Barra, RJ, Brasil**. Revista do Departamento de Geografia, n. spe, p. 164-171, 2017.

RAMOS, C.; M, SANCHEZ. Estudo metodológico de classificação de dados para cartografia temática. GEOGRAFIA, Rio Claro, Vol. 25(2): 23-52, 2000.

RAHN, P.H. (1986): **Engineering Geology- An Environmental Approach, Upper Saddle River**: PTR Prentice Hall, 2nd ed.: 657p

RIBEIRO, W. C., 2010. **Riscos e Vulnerabilidade Urbana no Brasil**. Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía Y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. Depósito Legal: B. 21.741-98, Vol. XIV, núm. 331 (65).

RIGHETTO, J. M.; MENDIONDO, E. M.; **Avaliação de riscos hidrológicos: principais danos e causas e proposta de seguro contra enchentes**. III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, Goiânia, 2004. Disponível em <http://www.shs.eesc.usp.br/downloads/docentes/eduardo-mario-mendiondo/Righetto_Mendiondo_IISRH-Centro-Oeste-Goiania-2004.pdf>. Acessado em 12 de maio de 2020.

RIGHETTO, J. M. **Modelo de seguro para riscos hidrológicos no contexto de manejo integrado de bacias hidrográficas**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ROTUNNO, R. et al. Coastal Meteorology. A review of the state of the science. Panel on Coastal Meteorology, Committee on Meteorological Analysis, Prediction, and Research, Board on Atmospheric Sciences and Climate, Commission on Geosciences, Environment, and Resources, National Research Council, National Academy of Sciences. Washington: The National Academy Press, 1992.

ROSA, R. Introdução ao sensoriamento remoto, 7. ed., Uberlândia: **Ed. EDUFU**. 2009.

SANTOS EHM, GRIEBELER NP, OLIVEIRALFC. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial na bacia hidrográfica do ribeirão João Leite - GO. **Engenharia Agrícola**. 2011;3(1):78-89.

SANTOS, C. A. C. **Estimativa e Tendências de Índices de Detecção de Mudanças Climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba**, 98 p., Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2006.

SANTOS, C. A. C. dos; BRITO, J. I. B. de; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A. Tendências dos índices de precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 39-47, 2009.

SANTOS, J. O.; SOUZA, M. J. N. de. Compartimentação geoambiental e riscos ambientais associados na bacia hidrográfica do rio Cocó, Ceará. In: PINHEIRO, D. R. C. (Org.).

Desenvolvimento sustentável: desafios e discussões. Fortaleza: ABC Editora, 2006. p. 75-98.

SANTOS, L. D. J. **Evolução morfodinâmica e antropogênica da unidade geomorfológica restinga no bairro do Recife Antigo-PE.** 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, J.; MARCOS, N. Abordagem Geoambiental aplicada à análise da vulnerabilidade e dos riscos em ambientes urbanos. **Boletim Goiano de Geografia.** Goiânia, v 34, n2, p. 215-232, maio/ago. 2014

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A.F.M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações.** Ilhéus: Editus, 2002. 289p.

SECTMA - Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco. Plano estadual de recursos hídricos de Pernambuco, 1998.

SMITH, J. Understanding climate variability and climate change. **Weather and Climate**, v. 1, p. 1–25, 2010.

SMITH, K. 1992: **Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster**. London: Routledge.

SMITH, K., Climatic Extremes as a hazard to humans. In: THOMPSON, R.D.; THOMPSON, A.P. (Org) *Applied Climatology- principles and practices*. London: Routledge, 1997. 352p.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V. Índice de Detecção de Mudanças Climáticas Derivados da Precipitação Pluviométrica e das Temperaturas em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.2, p.320-331, 2012.

SOUZA, W. M. **Impactos socioeconômicos e ambientais dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE.** 2011. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2011.

SOUZA; R. S.; CAMPOS, H. L. O Processo de Implantação e Execução do Prometrópole em Recife e Olinda (PE). **Revista de Geografia da UFPE**, 2010.

SOUZA, W., AZEVEDO, P., ASSIS, J., & SOBRAL, M. DO C. (2014). ÁREAS DE RISCO MAIS VULNERÁVEIS AOS DESASTRES DECORRENTES DAS CHUVAS EM RECIFE-PE. **Brazilian Journal of Environmental Sciences** (Online), (34), 79-94.

SRHE/PE - Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos de Pernambuco. **Projeto de dragagem do rio Beberibe no trecho entre a BR-101 e a ponte da avenida Olinda** (trechos 1 a 5), volume 1, 2012.

SUSMAN, P., O'KEEFE, P. AND WISNER, B. **Global disasters: a radical interpretation.** In Hewitt, K., editor, *Interpretations of calamity*, Boston, MA: Allen & Unwin , 264-83, 1984.

TAPSELL, S; MCCARTHY, S; FAULKNER, H & ALEXANDER, M.,2010. **Social Vulnerability and Natural Hazards**. CapHaz-Net WP4 Report, Flood Hazard Research Centre – FHRC, Middlesex University, London.

TIMMERMAN, P. 1981: **Vulnerability, resilience and the collapse of Society** . Environmental Monograph 1. Toronto: Institute for Environmental Studies.

TIMMERMAN. P. **Vulnerability, resilience and collapse of society. Environmental Monograph 1**, Institute for Environmental Studies, University of Toronto, 1981.

TOMINAGA, L. K. **Desastres naturais: por que ocorrem?** In. TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. Disponível em: <<http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads>>. Acesso em: 18 mar. 2014.

TUCCI, C. E. M. **Água Doce**. Cap. 14. Instituto de Pesquisas Hidráulicas Recursos Hídricos. Vol. 5 n. 01. Jan/Mar 2000.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. 2ª edição. UFRGS Editora, 2005.

TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. da. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: **Editora da UFRGS**, ABRH, 2009.

TUCCI. C. E. M. Plano Diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol. 2 n.2 Jul/Dez 1997.

UFSC. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012. 2.ed. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

UN-ISDR - International Strategy for Disaster Reduction. 2009. Terminology on Disaster Risk Reduction. Disponível em <http://www.unisdr.org>. Acesso em agosto de 2020.

UNDRO - UNITED NATIONS DISASTER RELIEF ORGANIZATION. **Natural disasters and vulnerability analysis**. Geneva: Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator, 1982.

UNITED NATIONS. The World 's Cities in 2018. *The World's Cities in 2018 - Data Booklet (ST/ESA/SER.A/417)*, 2018.

VENTURI, L (org). **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório**, 2014.

VEYRET, Y.; RICHEMOND, N. M. Definições e vulnerabilidades do risco. In: VEYRET, Y. (Org.). *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. São Paulo: Contexto, 2007.

VICENTE, A. K. V662e Eventos extremos de precipitação na Região Metropolitana de Campinas / Andréa Koga Vicente.- Campinas,SP.: [s.n.], 2004.

VOS, F. *et al. Annual Disaster Statistical Review 2009: The Numbers and Trends*. Brussels: **CRED**; 2010. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/14382_ADSR2009.pdf. Acesso em 11 de maio 2020.

WATTS, M. J.; BOHLE, H. G. **The space of vulnerability**: the causal structure of hunger and famine. *Progress in Human Geography* 17, 43-67, 1993.

WESTEN, C. J.; VAN ASCH, T.W.J.; SOETERS, R. *Landslide hazard and risk zonation: why is it still so difficult?*, **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 2006.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). Statement on the State of the Global Climate in 2015, 2016.

ZHANG, Yong-Ling.; YOU, Wen-Jiǎo. Social vulnerability to floods: a case study of Huaihe River Basin In: **Nat Hazards** (2014) 71:2113-2125

ZILLI, M. T., CARVALHO, L. M. V., LIEBMANN, B., & SILVA DIAS, M. A. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. *International Journal of Climatology*, 37(5), 2269–2279, 2017.