



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**LILLIAN SOUZA DOS ANJOS**

**EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS E PRINCIPAIS CONDICIONANTES  
PARA A OCORRÊNCIA DE IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS NO MUNICÍPIO DO  
RECIFE-PE**

Recife  
2023

LILLIAN SOUZA DOS ANJOS

**EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS E PRINCIPAIS CONDICIONANTES  
PARA A OCORRÊNCIA DE IMPACTOS SOCIAMBIENTAIS NO MUNICÍPIO DO  
RECIFE-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestra em geografia.

Área de concentração: Regionalização e análise regional.

Orientador: Prof. Dr<sup>o</sup>. Ranyére Silva Nóbrega

Coorientador: Prof. Dr<sup>o</sup>. Lucas Suassuna de Albuquerque Wanderley

Recife

2023

**.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central**

Anjos, Lillian Souza dos.

Eventos pluviométricos extremos e principais condicionantes para a ocorrência de impactos socioambientais no município do Recife-PE / Lillian Souza dos Anjos. - Recife, 2023.

182f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Orientação: Ranyére Silva Nóbrega.

Coorientação: Lucas Suassuna de Albuquerque Wanderley.

1. clima urbano; 2. chuvas; 3. sistemas atmosféricos; 4. município do Recife. I. Nóbrega, Ranyére Silva. II. Wanderley, Lucas Suassuna de Albuquerque. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

CDD 910

LILLIAN SOUZA DOS ANJOS

**EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS E PRINCIPAIS CONDICIONANTES  
PARA A OCORRÊNCIA DE IMPACTOS SOCIAMBIENTAIS NO MUNICÍPIO DO  
RECIFE-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestra em geografia.  
Área de concentração: regionalização e análise regional.

Aprovada em: 19/12/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega (Orientador – Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Núbia Beray Armond (Examinadora Externa)  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Profa. Dra. Cristiana Coutinho Duarte (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco



Fotografia: A autora (2023)

Dedico este trabalho a todos os recifenses e pernambucanos que, ao longo de grandes eventos de chuva, perderam entes queridos, bens preciosos e tudo o que arduamente construíram ao longo de suas vidas. A vocês, que, assim como eu, tiveram de demonstrar força e resiliência em momentos de extrema adversidade. A esses que, muitas vezes com lágrimas, clamam por maior atenção, assistência e segurança. E que, acima de tudo, continuam a nutrir um profundo amor por cada parte desta cidade, mesmo diante das dificuldades.

## AGRADECIMENTOS

Me convém admitir que é com o coração cheio de amor e tantos outros bons sentimentos, que transcrevo através dessas palavras o que não chega nem perto do que verdadeiramente me transborda. As palavras podem ser finitas, mas toda a gratidão que tenho por todas essas pessoas, pela construção de saberes que não somente ficam no campo acadêmico, mas também outros tantos que levarei por toda a minha vida. Foi coletivamente, intensamente, como um “trabalho de formiguinha”, que foi possível escrever cada página.

Então, em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter me instruído e guiado minha trajetória até aqui, me permitindo sabedoria para enfrentar os obstáculos.

Agradeço à minha família, em especial à minha mãe Eunice, meu pai Ademir e meu padrasto e segundo pai, Luiz Carlos. Devo a eles muito mais do que a educação que me deram, mas principalmente os princípios, os valores e as referências de vida. Aprendi o que significa ser bom e ser do bem, e isso e todo o mais as minhas palavras jamais contemplarão.

Agradeço a Rafael, meu amigo e companheiro. Sou muito grata pela sua completude, o que abarca todos os adjetivos possíveis que eu poderia usar para descrever uma das pessoas mais fascinantes e inteligentes que já conheci na vida. “Contigo aprendo e viro amiga do saber” e do amor. Obrigada por ter feito parte integralmente desse trabalho, e por me motivar e acreditar que eu consigo chegar aonde eu quiser.

Agradeço a Lucas Suassuna, meu coorientador. Seu coração é tão grande quanto sua simplicidade e integridade. Um grande exemplo de profissional e de ser humano. Sempre serei grata por toda a paciência que teve comigo, e por toda sabedoria expressa nas orientações que foram de imensa importância não apenas para a realização desse trabalho, mas para meu crescimento pessoal e intelectual.

Ao meu orientador desde a graduação, professor Ranyére Nóbrega, por todos esses 6 anos de parceria. A quem muito admiro, e tenho eterna gratidão por sua confiança. Nunca vou esquecer de que foram as suas aulas que possibilitaram o encontro único e completo que tive com a climatologia geográfica, e que sua confiança em mim tornou possível materializar essa relação através das pesquisas.

Agradeço a Vinicius, meu companheiro de mestrado que me ajudou e quebrou a cabeça junto comigo em incontáveis momentos. Foi um presente que ganhei, e a quem jamais medirei esforços para estar presente.

Às minhas amigas Gabrielly, Dora e Stephany que sempre estavam dispostas a me ouvir nos momentos difíceis e acalmar meu coração com tanta ternura. Obrigada por me mostrarem que ainda é possível ter em quem confiar, e a cultivar uma grande amizade.

A todos os meus amigos e colegas que se fizeram presentes durante o andamento do trabalho, dando palavras de incentivo e de confiança, como Rodrigo Silva, Dafne Vitória, Maria Carolina, Tanelly Neriah e Keila Ferreira.

A todos os colegas do TropoClima e a coordenadora, profa. Cristiana Coutinho, que sempre esteve presente quando precisei, me instruindo e ajudando. Agradeço de todo o meu coração.

Ao professor Nilson Crócia, que sempre foi uma grande pessoa na minha trajetória acadêmica desde a graduação, confiando e me oferecendo oportunidades e boas trocas. E aos outros professores do Departamento de Geografia, que contribuíram de maneira significativa em minha formação, em especial ao professor Osvaldo Girão por ter aceitado o convite de fazer parte da banca de qualificação e defesa e pelas excelentes contribuições à essa pesquisa.

À professora Núbia Beray Armond, pela inspiração que de forma direta e indireta deixou em tantas páginas desse trabalho. Obrigada por ser tão boa no que faz, e por inspirar mulheres que estão trilhando os caminhos da climatologia, assim como eu.

A Eduardo, secretário da pós-graduação em Geografia da UFPE, que realiza seu trabalho com tanta dedicação e respeito à todos os alunos e alunas. Foi sempre com muita solicitude, compreensão e disposição, que acompanhou todos os processos que envolveram o andamento do mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Pernambuco – FACEPE, pela concessão da bolsa e por ter possibilitado o bom andamento desta pesquisa.

### ***Chuvas do Recife***

Sei que a chuva não quebra osso  
que há defesas contra seu soco.  
Mas sob chuva tropical  
me sinto ante o Juízo Final  
em que não creio mas me volta  
como o descreviam na escola:  
mesmo se ela cai sem trovão  
demótica em sua expressão.

No Recife, se a chuva chove,  
a chuva é a desculpa mais nobre  
para não se ir, não se fazer,  
para trancar-se no não ser.  
Mais que corda, é chuva em sabres  
que aprisiona o dia em grades,  
e mesmo que tenha gazuas  
da grade viva, evita a rua.

(...)

Há no Recife uma outra chuva  
(embora rara) rala, miúda  
Não como a chuva da chuvada,  
que cai, agride, e é pedra d'água,  
passa em peneira esta chuva,  
não traz balas, não tranca ruas:  
mas faz também ficar em casa,  
quem pode, antevivendo o nada.

(Neto, 1980)

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a dinâmica espaço-temporal dos eventos extremos de precipitação e dos impactos socioambientais relacionados no município de Recife, estado de Pernambuco, Brasil. Foram coletados dados da série histórica de 1962 a 2021, da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A partir disso, foram analisados padrões de chuva, desde tempo de retorno dos eventos, anos e meses mais chuvosos, e históricos de eventos acima do parâmetro para chuvas intensas e extremas. Posteriormente, foram coletados dados de uma rede de pluviômetros (14 postos) para a cidade do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres (CEMADEN), dos anos de 2018 a 2021, no intuito de analisar a distribuição espacial dos grandes eventos mais recentes baseados nos parâmetros encontrados anteriormente, além de possíveis padrões de gênese. Para identificação dos locais mais impactados pelos eventos, foi realizado um levantamento através das mídias digitais e apresentados através de um inventário. Através disso, foi possível constatar que apesar da série histórica não apresentar tendência de aumento na ocorrência de eventos extremos, eles ocorrem praticamente todos os anos e com um tempo de retorno que varia de 1 a 2 anos para precipitações entre 50mm e 100mm. Foram identificados que os quantis de 95% (eventos de chuva muito forte) tem totais de chuva diária entre 50mm e 92,2mm e de 99% (eventos de chuva extrema) com precipitações diárias acima de 92,2mm. Em relação a série mais recente, foi possível encontrar registros de precipitação acima de 200mm em alguns postos pluviométricos, principalmente nos postos de Dois Unidos, Nova Descoberta, Bairro do Recife e UR3 Ibura. Todos os eventos estavam associados ao sistema de Distúrbio Ondulatório de Leste, e suas distribuições espaciais possivelmente relacionadas com a predominância das nuvens mais densas durante a atuação do sistema, tipos de chuvas, direção e velocidade dos ventos e ao relevo. Sobre os impactos relacionados aos eventos, foi observado que eles são mais intensos onde há os maiores volumes de precipitação, mas atinge as populações mais vulneráveis que habitam nas áreas de riscos dessas localidades. Quanto à historicidade dos episódios de chuva, foram identificados 34 grandes episódios entre os anos de 1962 e 2021, sendo o de 1975 um dos maiores em relação a magnitude dos impactos. Destaca-se que os impactos mais severos foram identificados nas áreas de maior condição de vulnerabilidade socioeconômica, além da necessidade de ações que busquem mitigar os impactos através de uma integração entre planejamento urbano sustentável e da relação com as comunidades afetadas através do incentivo da educação ambiental e climática.

**Palavras-chave:** clima urbano; chuvas; sistemas atmosféricos; município do Recife.

## ABSTRACT

The present study aims to analyze the spatiotemporal dynamics of extreme precipitation events and related socio-environmental impacts in the municipality of Recife, state of Pernambuco, Brazil. Data were collected from the historical series spanning from 1962 to 2021, obtained from the meteorological station of the National Institute of Meteorology (INMET). Patterns of rainfall were analyzed, including the return period of events, the wettest years and months, and the history of events exceeding the parameter for intense and extreme rains. Subsequently, data from a network of rain gauges (14 stations) for the city from the National Center for Monitoring and Disaster Alert (CEMADEN) were collected for the years 2018 to 2021, with the aim of analyzing the spatial distribution of the most recent major events based on the parameters found earlier, as well as possible genesis patterns. To identify the locations most impacted by the events, a survey was conducted through digital media and presented in an inventory. Through this, it was possible to observe that despite the historical series not showing a trend of increasing occurrence of extreme events, they occur practically every year with a return period ranging from 1 to 2 years for precipitations between 50mm and 100mm. It was identified that the 95% quantiles (very heavy rain events) have total daily rainfall between 50mm and 92.2mm, and the 99% quantiles (extreme rain events) with daily precipitations above 92.2mm. Regarding the most recent series, records of precipitation above 200mm were found in some pluviometric stations, mainly in the stations of Dois Unidos, Nova Descoberta, Bairro do Recife, and UR3 Ibura. All events were associated with the East Wave Disturbance system, and their spatial distributions were possibly related to the predominance of denser clouds during the system's activity, types of rainfall, wind direction and speed, and the terrain. Concerning the impacts related to the events, it was observed that they are more intense where there are higher precipitation volumes but affect the most vulnerable populations living in the risk areas of these locations. Regarding the historicity of rain episodes, 34 major episodes were identified between the years 1962 and 2021, with the one in 1975 being one of the largest in terms of impact magnitude. It is noteworthy that the most severe impacts were identified in areas with the greatest socio-economic vulnerability, emphasizing the need for actions to mitigate impacts through integration between sustainable urban planning and relationships with affected communities through the promotion of environmental and climate education.

**Keywords:** urban climate; rainfall; atmospheric systems, municipality of Recife.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b>	Chuvas convectivas em corte transversal ao deslocamento da massa de ar quente.....	29
<b>Figura 2-</b>	Seção vertical de uma superfície frontal.....	30
<b>Figura 3-</b>	Chuvas orográficas em corte vertical ao deslocamento da massa de ar.....	30
<b>Figura 4-</b>	Primeira fotografia da atmosfera retirada pelo satélite TIROS I.....	32
<b>Figura 5-</b>	Formação de nuvem estratiforme associada à nevoeiro na região do Vale do Paraíba-SP.....	34
<b>Figura 6-</b>	DOL atuando na costa leste do Nordeste do Brasil no dia 28 de maio de 2022 às 17:00h.....	39
<b>Figura 7-</b>	(a) Imagem do satélite GOES do dia 29/01/2016 às 13:00h; (b) Imagem do satélite GOES 16 do dia 06/02/2023 às 11:00h.....	42
<b>Figura 8-</b>	Deslocamento da Zona de Convergência Intertropical ao longo das estações do ano.....	43
<b>Figura 9-</b>	Seção vertical da atmosfera próximo à costa mostrando as brisas marítimas (esquerda) e terrestre (direita).....	44
<b>Figura 10-</b>	Expansão urbana do Recife do século XVI até a década de 90 e 2000.....	52
<b>Figura 11-</b>	Adensamento urbano do bairro do Pina, Recife-PE.....	53
<b>Figura 12-</b>	Mapa das bacias hidrográficas e rede de drenagem do município do Recife.....	59
<b>Figura 13-</b>	Barragens de contenção e abastecimento de água ao longo do curso do Rio Capibaribe.....	61
<b>Figura 14-</b>	(a) Mapa do Recife e Cidade Maurícia em 1939; (b) Imagem do Google Earth da mesma localidade.....	63
<b>Figura 15-</b>	Localização do município de Recife e seus corpos hídricos, de acordo com estado e país.....	64
<b>Figura 16-</b>	Climograma do município do Recife-PE.....	65
<b>Figura 17-</b>	Mapa hipsométrico do município do Recife destacando a localização da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).....	66

<b>Figura 18-</b>	Bairro de Boa Viagem (a), zona norte das colinas em Recife (b) e zona norte da planície e das colinas de Recife (c).....	68
<b>Figura 19-</b>	Fluxograma da metodologia da dissertação.....	69
<b>Figura 20-</b>	Localização dos postos pluviométricos do CEMADEN no município do Recife-PE, considerando o relevo e os corpos hídricos.....	79
<b>Figura 21-</b>	Precipitação anual do município do Recife-PE caracterizada pela Técnica dos Quantis.....	83
<b>Figura 22-</b>	Precipitação média mensal, máxima e mínima em Recife entre os anos de 1962 e 2021.....	83
<b>Figura 23-</b>	Série temporal pluviométrica com dados diários da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) – 1962 a 2021.....	85
<b>Figura 24-</b>	Outliers mensais e anuais da série histórica do INMET Recife.....	87
<b>Figura 25-</b>	Reportagem de jornal do dia 10 de julho de 1980 informando a causa da gênese do evento pluviométrico que afetava a cidade....	89
<b>Figura 26-</b>	Limiões de precipitação definidos para série histórica através da Técnica dos Quantis.....	93
<b>Figura 27-</b>	Gráficos dos totais de eventos registrados por mês dos quantis 95% e 99%.....	94
<b>Figura 28-</b>	Tempo de retorno dos eventos pluviométricos máximos anuais (1962-2021).....	95
<b>Figura 29-</b>	Probabilidade anual de recorrência (%) dos eventos máximos anuais.....	96
<b>Figura 30-</b>	Distribuição média da precipitação (anual e anual acima de 50 mm) entre 2018 e 2021.....	97
<b>Figura 31-</b>	Média mensal de precipitação dos postos pluviométricos entre 2018 e 2021.....	98
<b>Figura 32-</b>	Quantidade de eventos de chuva entre 2018 e 2021.....	99
<b>Figura 33-</b>	Distribuição da média horária da precipitação entre 2018 e 2021 no município do Recife.....	101
<b>Figura 34-</b>	Intensidade de precipitação estratiforme acumulada de janeiro de 1998 a junho de 2011 em Pernambuco em mm/h com ênfase na região litorânea do estado.....	102

<b>Figura 35-</b>	Intensidade de precipitação convectiva acumulada de janeiro de 1998 a junho de 2011 em Pernambuco em mm/h com ênfase na região litorânea do estado.....	102
<b>Figura 36-</b>	Distribuição periódica da precipitação nos postos com os maiores volumes de chuva no dia 13 de junho de 2019.....	107
<b>Figura 37-</b>	Bairros mais afetados e impactos associados registrados através das reportagens de jornais no dia 13 de junho de 2019.....	108
<b>Figura 38-</b>	Distribuição periódica da precipitação nos postos com os maiores volumes de chuva no dia 24 de julho de 2019.....	111
<b>Figura 39-</b>	Ocorrências de impactos registrados pelos jornais locais em Recife no dia 24 de julho de 2019.....	112
<b>Figura 40-</b>	(a) Deslizamento de barreira no bairro de Passarinho; (b) Alagamento na BR 101 na Guabiraba.....	113
<b>Figura 41-</b>	Distribuição periódica da precipitação nos postos com os maiores volumes de chuva no dia 14 de junho de 2020.....	116
<b>Figura 42-</b>	(a) Manchete de jornal do dia 14 de junho de 2020 informando sobre o alerta das chuvas; (b) Queda de árvore no bairro de Apipucos.....	117
<b>Figura 43-</b>	Distribuição periódica da precipitação nos postos com os maiores volumes de chuva no dia 11 de abril de 2021.....	120
<b>Figura 44-</b>	Bairros mais afetados e impactos associados registrados através das reportagens de jornais no dia 11 de abril de 2021.....	121
<b>Figura 45-</b>	Distribuição periódica da precipitação nos postos com os maiores volumes de chuva no dia 13 de maio de 2021.....	125
<b>Figura 46-</b>	Bairros mais afetados e impactos associados registrados através das reportagens de jornais no dia 13 de maio de 2021.....	126
<b>Figura 47-</b>	Distribuição periódica da precipitação nos postos com os maiores volumes de chuva no dia 28 de maio de 2022.....	128
<b>Figura 48-</b>	Mapas da precipitação diária em 25/05/2022 e da precipitação acumulada dos dias 23/05/2022 a 29/05/2022.....	131
<b>Figura 49-</b>	Deslizamentos de terra decorrentes das fortes chuvas no município do Recife, comunidade de Jardim Monte Verde no Ibura, em 28 de maio de 2022.....	132

<b>Figura 50-</b>	Bairros mais afetados em relação ao número de óbitos registrados no dia 28 de maio de 2022 e comparação entre os bairros mais afetados em relação ao número de óbitos registrados pela Defesa Civil do Recife entre 2003 e 2021.....	133
<b>Figura 51-</b>	Número de episódios em relação aos jornais.....	135
<b>Figura 52-</b>	Quantidade de episódios e eventos do quantil 99% por décadas...	135
<b>Figura 53-</b>	Porcentagem de registros de totais diários pelas reportagens dos jornais.....	136
<b>Figura 54-</b>	Porcentagem do total de episódios com registro de precipitação acumulada.....	137
<b>Figura 55-</b>	Registros de problemas urbanos no município relatados nas reportagens.....	137
<b>Figura 56-</b>	Manchete anunciando a construção da primeira barragem de Tapacurá.....	141
<b>Figura 57-</b>	Imagens dos impactos associados às chuvas em 1970 (a) bairro de Beberibe e (b) local não citado.....	142
<b>Figura 58-</b>	(a) Manchete do jornal Diário de Pernambuco em 1970; (b) Manchete do jornal Diário de Pernambuco em março de 1975.....	143
<b>Figura 59-</b>	População do município de Recife entre 1970 e 2022.....	143
<b>Figura 60-</b>	Projeto para construção das barragens de contenção das águas ao longo da Bacia do Rio Beberibe.....	144
<b>Figura 61-</b>	Manchete do jornal Diário de Pernambuco de 2 de maio de 1977..	146
<b>Figura 62-</b>	Deslizamento de barreira atinge casa no episódio de 11 de junho de 1980.....	147
<b>Figura 63-</b>	Manchete do Diário de Pernambuco em 11 de junho de 1980.....	148
<b>Figura 64-</b>	Descrição dos impactos e tipo de ocorrência por bairros no município do Recife entre 1962 e 2021.....	149
<b>Figura 65-</b>	Unidades geomorfológicas orientadas de acordo com o perfil da renda do chefe familiar no município de Recife, destacando os corpos hídricos.....	150
<b>Figura 66-</b>	Manchete do Jornal do Comércio destacando os impactos de uma das maiores tragédias já vivenciadas em Recife em 2022.....	152

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1-</b>	Imagens de satélite mostrando a formação de trovoadas em relação aos fenômenos atmosféricos de escala sinótica.....	33
<b>Quadro 2-</b>	Descrição dos índices para precipitação calculados pelo Climact utilizados nessa pesquisa.....	72
<b>Quadro 3-</b>	Modelo de tabulação das notícias veiculadas em jornais.....	81
<b>Quadro 4-</b>	Comparativo da precipitação que atingiu Recife em agosto de 1970.....	91
<b>Quadro 5-</b>	Comparativo entre os registros históricos dos postos do Aeroporto e do DNOCS entre os dias 10 e 12 de agosto de 1970.....	91
<b>Quadro 6-</b>	Registros históricos relacionados aos episódios mais expressivos em impactos no Recife.....	138

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1-</b>	Classificação e características das nuvens de acordo com tamanho de sua base em relação a superfície terrestre.....	31
<b>Tabela 2-</b>	Classificação das categorias de precipitação diária.....	76
<b>Tabela 3-</b>	Tendências dos índices calculados pelo pacote Rclimdex. Os valores de p-valor em itálico indicam baixa significância estatística (0,1 a 0,5) e em negrito indicam significância estatística média (0,05 a 0,01).....	86
<b>Tabela 4-</b>	Precipitações máximas diárias registradas no município do Recife segundo dados da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (1962-2021).....	88
<b>Tabela 5-</b>	Quantidade de eventos e frequência mensal dos quantis 95% e 99%.....	94
<b>Tabela 6-</b>	Maiores totais mensais entre 2018 e 2021 em comparativo com a climatologia média mensal.....	99
<b>Tabela 7-</b>	Postos com registros máximos em dias de eventos extremos e totais pluviométricos (mm).....	104
<b>Tabela 8-</b>	Registros de impactos no dia 14 de junho de 2020 e principais locais afetados.....	116

## LISTA DE PRANCHAS

<b>Prancha 1-</b>	Espacialização da precipitação diária em Recife-PE (A); Rosa dos ventos (B); Cartas sinóticas das 00h (C) e 12h (D); Imagens do satélite Goes 16 de 800 hPa das 00h (E) e 12h (F) do dia 13/06/2019.....	106
<b>Prancha 2-</b>	Espacialização da precipitação diária em Recife-PE (A); Rosa dos ventos (B); Cartas sinóticas das 00h (C) e 12h (D); Imagens do satélite Goes 16 de 800 hPa das 00h (E) e 12h (F) do dia 24/07/2019.....	110
<b>Prancha 3-</b>	Espacialização da precipitação diária em Recife-PE (A); Rosa dos ventos (B); Cartas sinóticas das 00h (C) e 12h (D); Imagens do satélite Goes 16 de 800 hPa das 00h (E) e 12h (F) do dia 14/06/2020.....	115
<b>Prancha 4-</b>	Espacialização da precipitação diária em Recife-PE (A); Rosa dos ventos (B); Cartas sinóticas das 00h (C) e 12h (D); Imagens do satélite Goes 16 de 800 hPa das 00h (E) e 12h (F) do dia 11/04/2021.....	119
<b>Prancha 5-</b>	Espacialização da precipitação diária em Recife-PE (A); Rosa dos ventos (B); Cartas sinóticas das 00h (C) e 12h (D); Imagens do satélite Goes 16 de 800 hPa das 00h (E) e 12h (F) do dia 13/05/2021.....	124
<b>Prancha 6-</b>	Espacialização da precipitação diária em Recife-PE (A); Cartas sinóticas das 00h (B) e 12h (C); Imagens do satélite Goes 16 de 800 hPa das 00h (D) e 12h (E) do dia 28/05/2022.....	129

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ANA</b>	Agência Nacional de Águas
<b>ASAN</b>	Anticiclone Subtropical do Atlântico Norte
<b>ASAS</b>	Alta Subtropical do Atlântico Sul
<b>BDMEP</b>	Banco de Dados Meteorológicos do INMET
<b>CEMADEN</b>	Centro Nacional de Monitoramento e Desastres Naturais
<b>CPTEC</b>	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
<b>DNOCS</b>	Departamento Nacional de Obras Contra a Seca
<b>DOL</b>	Distúrbio Ondulatório de Leste
<b>ENEB</b>	Leste do Nordeste do Brasil
<b>GOES</b>	Geostationary Operational Environmental Satellite
<b>ICEA</b>	Instituto de Controle do Espaço Aéreo
<b>IDW</b>	Inverso da Distância Ponderada
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>INPE</b>	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
<b>IPCC</b>	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
<b>MDE</b>	Modelo Digital de Elevação
<b>MDS</b>	Modelo Digital de Superfície
<b>NNEB</b>	Norte do Nordeste do Brasil
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration
<b>PDDR</b>	Plano Diretor de Drenagem do Recife
<b>PE3D</b>	Pernambuco tridimensional
<b>QC</b>	Controle de Qualidade
<b>SCU</b>	Sistema Clima Urbano
<b>TSM</b>	Temperatura de Superfície do Mar
<b>VCAN</b>	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
<b>ZCIT</b>	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>20</b>
1.1.	OBJETIVOS.....	22
1.1.1.	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>22</b>
1.1.2.	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>22</b>
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>23</b>
2.1.	CONDICIONANTES NATURAIS E ANTRÓPICOS E A INFLUÊNCIA DO CLIMA URBANO NO PROCESSO DE FORMAÇÃO DAS CHUVAS.....	23
2.2.	TIPOS DE CHUVAS ASSOCIADOS AOS TIPOS DE NUVENS E SISTEMAS ATMOSFÉRICOS.....	28
<b>2.2.1.</b>	<b>Sistemas atmosféricos atuantes em Recife.....</b>	<b>35</b>
2.2.1.1.	Distúrbio Ondulatório de Leste (DOL).....	37
2.2.1.2.	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) e Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).....	41
2.2.1.3.	Brisas marítimas.....	44
2.3.	A EXCEPCIONALIDADE DAS CHUVAS EM RECIFE E OS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS.....	45
<b>2.3.1.</b>	<b>Fatores geográficos do sítio urbano do município do Recife condicionantes ou agravantes dos episódios de chuvas intensas.....</b>	<b>50</b>
2.3.1.1.	Elevação do nível do mar e a influência das marés.....	56
2.3.1.2.	Rede de drenagem e bacias hidrográficas.....	58
<b>3.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>64</b>
3.1.	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	64
3.2.	METODOLOGIA.....	69
<b>3.2.1.</b>	<b>Aquisição dos dados.....</b>	<b>70</b>
<b>3.2.2.</b>	<b>Tratamento e análise dos dados históricos de precipitação.....</b>	<b>71</b>
<b>3.2.3.</b>	<b>Espacialização, análise sinótica e da distribuição espacial dos eventos pluviométricos extremos e sua relação com os possíveis condicionantes.....</b>	<b>78</b>

3.2.4.	<b>Distribuição dos impactos associados aos eventos pluviométricos e episódios de chuvas em Recife.....</b>	<b>80</b>
4.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>82</b>
4.1.	HISTÓRICO DA PRECIPITAÇÃO E DOS EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS EM RECIFE.....	82
4.1.1.	<b>Precipitação histórica anual, mensal, diária e possíveis tendências.....</b>	<b>82</b>
4.1.1.1.	O registro do episódio de 11 de agosto de 1970, máximo diário registrado pelo Instituto Nacional de Meteorologia.....	89
4.1.2.	<b>Classificação e quantificação dos eventos diários extremos, tempo de retorno e probabilidade de recorrência.....</b>	<b>93</b>
4.2.	DA GÊNESE DOS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM RECIFE: CARACTERIZAÇÃO, PADRÕES E CONDICIONANTES....	96
4.2.1.	<b>Distribuição anual e mensal da precipitação entre 2018 e 2021....</b>	<b>96</b>
4.2.2.	<b>Quantificação por posto pluviométrico dos eventos extremos de precipitação diária a partir dos limiares definidos e caracterização sazonal horária associada aos tipos de chuva em Recife.....</b>	<b>99</b>
4.2.3.	<b>Análises sinóticas e distribuição espacial dos eventos extremos</b>	<b>103</b>
4.2.3.1.	Evento do dia 13 de junho de 2019.....	104
4.2.3.2.	Evento do dia 24 de julho de 2019.....	109
4.2.3.3.	Evento do dia 14 de junho de 2020.....	113
4.2.3.4.	Evento do dia 11 de abril de 2021.....	117
4.2.3.5.	Evento do dia 13 de maio de 2021.....	122
4.2.3.6.	Evento do dia 28 de maio de 2022.....	127
4.3.	LEVANTAMENTO HISTÓRICO DOS EPISÓDIOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO A PARTIR DO ACERVO DE MÍDIAS DIGITAIS E A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS IMPACTOS NO MUNICÍPIO.....	134
4.3.1.	<b>Inventário dos episódios pluviais extremos entre 1962 e 2021.....</b>	<b>134</b>
4.3.2.	<b>Historicidade dos episódios pluviométricos extremos: causas e repercussões no espaço urbano.....</b>	<b>140</b>
5.	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>154</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>157</b>

## 1. INTRODUÇÃO

São considerados extremos, os fenômenos climáticos que ocorrem em grandes intensidades e fora do que é considerado habitual em determinadas localidades. Esses eventos vêm se tornando mais frequentes e preocupantes (Mendonça e Roseghini, 2012). Segundo Castelhana (2019), os registros crescentes dos desastres atrelados aos eventos extremos tem sido atribuídos a fatores como a elevação das temperaturas, variações nas chuvas e poluição do ar, agravados pela ação humana. Não obstante, em 2018, o Relatório Especial do IPCC já havia destacado a necessidade urgente de mudanças comportamentais para mitigar os impactos desses eventos.

A intensificação dos eventos climáticos extremos está intimamente ligada às mudanças climáticas globais. A hipótese de que essas mudanças são induzidas pelo homem sugere que o clima, que já passou por diversas alterações ao longo das eras geológicas, agora se transforma rapidamente devido às atividades humanas (Castelhana, 2019). Esse cenário foi amplamente discutido nas décadas de 80 e 90, com estudos de Monteiro (1975; 2003) evidenciando a relação entre o homem e o clima. Posteriormente, com o início dos anos 2000 e a realização de conferências e acordos internacionais, o foco voltou-se para os impactos globais das mudanças climáticas (Hansen, 2009; Hansen *et al.*, 2016).

No contexto brasileiro, diversos pesquisadores, como Paulo Artaxo, têm investigado os impactos das condições climáticas locais, especialmente na Amazônia. Esses estudos demonstram como os poluentes de queimadas e atividades humanas afetam a formação de nuvens e chuvas (Artaxo *et al.*, 2005; Artaxo, 2014; 2019). Além disso, pesquisas realizadas por Ambrizzi *et al.* (2021), Marengo *et al.* (2012) e Marengo (2014) têm buscado entender a variabilidade das precipitações e os impactos consequentes, como secas e inundações, que afetam diretamente o cotidiano das populações.

Dentre os elementos climáticos, a precipitação se destaca por seus múltiplos impactos na sociedade, influenciando desde o planejamento urbano até a gestão de recursos hídricos. A urbanização intensa, associada à distribuição irregular das chuvas, agrava problemas como inundações e deslizamentos, especialmente em áreas com infraestrutura deficiente (Wanderley *et al.*, 2018). Essa realidade foi evidenciada entre 2021 e 2022, quando chuvas intensas causaram grandes impactos

socioeconômicos em países como Brasil, Alemanha e China (O Globo, 2021; CNN BRASIL, 2021; 2022).

No Brasil, os eventos pluviais intensos dos últimos anos têm sido devastadores, resultando em centenas de mortes e impactos socioambientais severos. Segundo o quinto relatório do IPCC (2014), as mudanças climáticas acentuam desigualdades, afetando principalmente as populações mais vulneráveis. Pesquisadores alertam que esses eventos podem se tornar cada vez mais frequentes e intensos, conforme as atividades humanas continuarem a alterar os padrões de precipitação (Mann e Emanuel, 2006; Emanuel, 2013; Zwiers *et al.*, 2011; Young e Espinoza; Marengo, 2017; Nobre e Marengo, 2012). Essa preocupação reforça a importância de investigações detalhadas sobre a variabilidade das precipitações, considerando escalas temporais menores e particularidades locais.

No Recife, os impactos das chuvas intensas são exacerbados pelas formas inadequadas de ocupação do solo, como a impermeabilização das superfícies e a habitação em áreas de risco. Pesquisas recentes identificaram que o adensamento urbano tem contribuído para problemas climáticos locais, incluindo ilhas de calor, desconforto térmico, concentração de doenças e poluição do ar (Moreira, 2021; Santos, 2019; Anjos, 2021; Mendes, 2021). Além disso, o processo de metropolização da cidade, evidenciado por Corrêa (2010), cria um topoclima urbano que agrava os impactos das chuvas extremas.

Neste contexto, este estudo busca compreender as variabilidades diárias e espaciais da precipitação em eventos extremos em Recife, com o objetivo de identificar ciclos climáticos que impactam a cidade. A regionalização da variabilidade espacial, em menor escala, utilizando séries temporais maiores, é fundamental para entender o comportamento das chuvas e seus impactos. O detalhamento dos padrões espaciais das chuvas pode orientar o planejamento urbano, especialmente em áreas onde a concentração de chuvas coincide com a alta vulnerabilidade.

Desta maneira, buscou-se responder: quais os padrões e comportamento da precipitação em casos de eventos extremos, em Recife, e quais os principais condicionantes naturais e antrópicos favoráveis à sua ocorrência e possíveis impactos?

Destarte, algumas questões norteadoras são pertinentes para a proposta da presente pesquisa:

- qual o padrão espaço-temporal da precipitação em casos de eventos extremos, em Recife?
- quais condicionantes contribuem para formação e espacialização das chuvas no município?
- existem diferenças de impactos no espaço urbano, a partir da associação entre as características hidrogeomorfológicas e a distribuição espaço-temporal da precipitação em eventos extremos?

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo geral

Analisar a dinâmica espaço-temporal dos eventos extremos de precipitação identificando os principais condicionantes naturais e antrópicos que explicam suas gênese e distribuição no espaço urbano, além dos impactos associados, no município do Recife.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- a) Investigar os padrões espaço-temporais da precipitação anual, mensal e diária, em Recife, nos anos de 1962 a 2021 e suas possíveis tendências;
- b) Identificar quais condicionantes estão atrelados à formação e distribuição da precipitação entre 2018 a 2021, e aos eventos pluviométricos com os maiores volumes diários;
- c) Regionalizar as áreas com maiores impactos e suscetibilidade aos eventos pluviométricos extremos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. CONDICIONANTES NATURAIS E ANTRÓPICOS E A INFLUÊNCIA DO CLIMA URBANO NO PROCESSO DE FORMAÇÃO DAS CHUVAS

Historicamente, é possível perceber uma forte interação entre o clima e a humanidade. Ao longo do tempo, as reflexões acerca das consequências das práticas humanas ao meio em que se vive, trouxe questionamentos sobre a repercussão negativa e os impactos associados a tais práticas, evidenciando, sobretudo, as catástrofes naturais e suas associações às mudanças antrópicas no uso da terra. Essas estão, direta ou indiretamente, relacionadas ao clima, como as anomalias da temperatura e/ou dos totais pluviométricos de uma região, que podem impulsionar uma série de problemas socioambientais (Magalhães, Zanella e Sales, 2009).

Alguns estudos buscaram desenvolver uma literatura acerca do clima urbano, tendo registros que datam de meados do século XX. Kratzer (1956) diz que o clima global exerce influência sobre as cidades, e cada uma delas difere-se uma das outras de acordo com seu tipo de clima, apresentando características próprias. Nesse sentido, as características climáticas peculiares distinguem a cidade da área que a circunda, dando-lhes origem. Partindo desse ponto de vista, há de se considerar na conceituação do clima urbano, as interferências antrópicas nas mudanças locais, ou como ele mesmo cita, na “paisagem da cidade” (Kratzer, 1956).

Dessa forma, em se tratar das unidades climáticas, discute-se sobre as relações que se estabelecem em escalas superiores, bem como em menores escalas (Cailleux e Tricart, 1956; Tricart, 1977; Monteiro e Mendonça, 2009). O clima de uma cidade não pode ser tido como um clima de grande área, assim como também não pode ser incluído entre microclimas considerando que os dados são coletados em estações meteorológicas orientadas para os macroclimas. No entanto, pela investigação climática da cidade estar diretamente mais próxima com o clima da camada de ar perto do solo, podemos associá-la a escala do mesoclima (Kratzer, 1956; Castelhana, 2019).

Segundo Monteiro (2009), um mesoclima pode ser um conjunto de topoclimas, visto que tendo como exemplo o sítio urbano de uma cidade, é possível observar variações climáticas ao longo dos diferentes compartimentos geomorfológicos. Em vista disso, Monteiro (2009) descreve as categorias taxonômicas da organização

geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano, apresentando a partir disso estratégias de abordagens que podem ser utilizadas, tal como meios de organização e técnicas de análise, por exemplo o estudo de um determinado fenômeno climático em escala local através da análise espacial. Kratzer (1956) ressalta, porém, que essa separação teórica não significa uma inexistente relação do clima da cidade com as áreas vizinhas, e que pelo contrário, essa interação se estabelece e é exemplificada através de fenômenos como a poluição atmosférica no tocante ao clima em geral, sobre a formação de nuvens e precipitação.

Outros autores como Oke (1973; 1976), Monteiro (1975) e Landsberg (1981) buscaram conceituar o clima urbano, considerando as interferências humanas e apresentando quais características poderiam influenciar as mudanças climáticas locais. Este crescente aumento da literatura reflete a progressiva preocupação acerca da atuação da ação humana em seu ambiente, sendo vista em muitas partes do mundo (Landsberg, 1981). A fase contemporânea dos estudos urbanos, como aponta recentemente Moreira *et al.*, (2022), se destaca pelo avanço das técnicas de análise, incluindo modelos de clima urbano mais realistas, e pela expansão dessas pesquisas em cidades de diferentes tamanhos, ampliando a compreensão da interação e diferenciação entre ambientes urbanos e rurais.

As razões que explicam por que o tema atingiu grandes dimensões, são a grande multiplicação de vastas cidades e áreas metropolitanas, fazendo com que as atividades humanas tenham influências sobre a dinâmica da atmosfera. Atualmente, a literatura no que se refere ao clima urbano, tem buscado enfatizar além dos conceitos, explicações maiores sobre os fatores e atividades antrópicas que, neste último século, têm contribuído para gerar maiores impactos na atmosfera local, devido às modificações na paisagem. Em uma pesquisa realizada por Changnon (1977), o pesquisador buscou compreender os efeitos da cidade sobre o regime pluviométrico em cidades do estado de Illinois. Ele concluiu que o volume de precipitação está fortemente relacionado com efeitos urbanos e topográficos.

Ao propor teorias para fundamentar o clima urbano, Monteiro (1975) criou o Sistema Clima Urbano (SCU) e definiu no sistema três canais de percepção. O primeiro, chamado de termodinâmico está relacionado aos processos térmicos e energéticos que ocorrem na atmosfera urbana, incluindo trocas de calor entre superfícies urbanas, radiação solar absorvida e emitida, e o efeito das condições climáticas locais. O segundo, físico-químico refere-se às interações físicas e químicas

entre os materiais urbanos e a atmosfera, como a formação de poluentes atmosféricos, reações químicas na atmosfera urbana, e a influência da qualidade do ar na saúde pública. O terceiro canal foi denominado hidrometeorológico e inclui fenômenos como chuvas extremas, tempestades, dentre outros que, ao alcançarem grandes magnitudes, podem comprometer a estrutura física e social da cidade. O município do Recife, assim como algumas outras cidades limítrofes, como Olinda, Jaboatão dos Guararapes e Camaragibe, possui um sítio urbano suscetível à ocorrência dos desastres com um grande adensamento em áreas de tabuleiros, assim como as planícies fluviais, ocupadas de maneira precária. Além da suscetibilidade da morfologia urbana, a polarização exercida por grandes cidades produz maior adensamento urbano (Nobrega e Farias, 2006).

Sendo assim, a forma de organização espacial urbana e a disposição dos elementos na paisagem são também fruto das ações antrópicas, como cita Santos (2006, p. 69):

Os movimentos da sociedade, atribuindo novas funções às formas geográficas, transformam a organização do espaço, criam situações de equilíbrio e ao mesmo tempo novos pontos de partida para um novo movimento. Por adquirirem uma vida, sempre renovada pelo movimento social, as formas - tornadas assim formas-conteúdo - podem participar de uma dialética com a própria sociedade e assim fazer parte da própria evolução do espaço.

Portanto, sendo a sociedade também responsável por atribuir conteúdo e reforçar as formas espaciais, os impactos de intervenções como a verticalização, impermeabilização de grandes vias de circulação, retirada de árvores, ocupação irregular em áreas de tabuleiros e encostas interfluviais, juntamente aos fenômenos climáticos, podem gerar efeitos socioeconômicos e ambientais severos (Zanella, 2006; Monteiro e Mendonça, 2003).

Os estudos acerca do clima urbano e dos fatores relacionados aos tipos de tempo e clima no município do Recife são bastante recentes, resultantes das necessidades de compreender as complexidades que envolvem o clima e sua interação com as populações. Moreira *et al.* (2022), descreveu os diversos estudos acerca do clima urbano tendo Recife como campo de estudo, enfatizando que estes foram se disseminando a partir dos anos 2000. Souza, Azevedo e Araújo (2012) contribuíram para a compreensão da vulnerabilidade da população recifense em

relação aos eventos pluviométricos diários. Moreira *et al.* (2017) realizaram um estudo de caso sobre os impactos de um evento pluviométrico extremo na cidade do Recife. Wanderley *et al.* (2018) detalharam a variabilidade temporal e a frequência desses eventos, enquanto Wanderley *et al.* (2021) chamaram a atenção para o uso do termo "intensas" em vez de "extremas" para descrevê-los devido à sua elevada recorrência. Anjos, Wanderley e Nóbrega (2020) analisaram a variabilidade espacial da precipitação na cidade.

Em relação às variáveis termodinâmicas, Nóbrega, Santos e Moreira (2016) estudaram a influência da morfologia urbana sobre a temperatura do ar e a Ilha de Calor Urbana. Santos *et al.* (2017) identificaram as áreas de conforto térmico em diferentes tipos de tempo no Recife. Moreira *et al.* (2021) discutiram a relação entre a ICU e o clima urbano da cidade. Além disso, o uso de imagens de satélite foi mencionado, com estudos que aplicaram o modelo *Surface Energy Balance Algorithms for Land* (SEBAL) para analisar a relação entre a superfície urbana e o campo térmico do Recife, incluindo trabalhos de Moreira (2009), Santos (2011), Oliveira (2012), Moreira, Nóbrega e Silva (2013) e Moreira (2014) (Moreira *et al.*, 2022).

Mendonça e Oliveira (2007) explicam a dinâmica dos elementos e fatores climáticos, focando na formação das nuvens e na precipitação. Esses fenômenos dependem das variações de temperatura ao longo de uma coluna ou massa de ar, o que resulta em processos de resfriamento ou aquecimento adiabático. Esses processos são responsáveis pela movimentação das massas de ar e desempenham um papel crucial na formação das nuvens. Durante o resfriamento adiabático de uma coluna de ar em ascensão, ocorre um aumento de umidade e uma redução na temperatura.

Para compreender com maior exatidão como a atmosfera responde à ascensão de massas de ar e como isso influencia a formação de nuvens e a ocorrência de precipitação em diferentes condições atmosféricas, é preciso entender alguns conceitos como gradiente adiabático seco, nível de condensação (associado a saturação) e gradiente adiabático úmido.

O gradiente adiabático seco refere-se à taxa de variação da temperatura de uma massa de ar seca que está em ascensão ou descida. Durante a ascensão, à medida que a pressão diminui, a massa de ar se expande e esfria a uma taxa de aproximadamente 1°C a cada 100 metros de elevação. Este processo ocorre sem a

troca de calor com o ambiente, caracterizando um resfriamento adiabático (Barrey e Chorley, 2012). À medida que o ar continua a subir, ele eventualmente atinge o nível de condensação, que é a altitude na qual a temperatura do ar se iguala à temperatura do ponto de orvalho, resultando na saturação do vapor d'água. Neste ponto, inicia-se a condensação, e as nuvens começam a se formar. Quando o ar saturado continua a subir, ele passa a resfriar-se a uma taxa mais lenta, devido ao calor liberado durante a condensação, processo conhecido como gradiente adiabático úmido. Este gradiente é menor que o adiabático seco, variando entre 0,5°C e 0,9°C por 100 metros, dependendo da quantidade de vapor d'água presente (Barrey e Chorley, 2012)

Núcleos de condensação desempenham um papel crucial na formação de precipitação (Mendonça e Oliveira, 2007). Quando o ar ascendente atinge o ponto de saturação e a temperatura do ponto de orvalho, ocorre a condensação do vapor d'água na coluna de ar, resultando na formação de nuvens. No entanto, a simples formação das nuvens não garante a ocorrência de chuva. O processo de precipitação se inicia quando a condensação e sublimação dentro das nuvens levam à formação de gotículas d'água e cristais de gelo.

À medida que algumas dessas gotículas e cristais crescem, começam a cair devido à gravidade, agregando mais moléculas de água à medida que descem (Mendonça e Oliveira, 2007). Esse processo de crescimento das gotas e cristais é facilitado pelos núcleos de condensação, que são pequenas partículas, como poeira, sal marinho ou partículas de poluição, sobre as quais o vapor de água se condensa. Essas gotas e cristais crescentes eventualmente alcançam um tamanho que não pode mais ser sustentado pela ascensão do ar quente, fazendo com que caiam em direção à superfície como chuva, neve ou outro tipo de precipitação. Esse ciclo de condensação, crescimento e precipitação é fundamental para entender como a umidade na atmosfera se transforma em formas de precipitação que afetam o clima e o ambiente terrestre.

É preciso compreender além disso que a distribuição espacial das chuvas está atrelada aos fatores geográficos e do clima. Em cada região do planeta, dos polos aos trópicos, a distribuição sazonal da precipitação ocorre de forma distinta. Alguns estudos no que diz respeito à influência da circulação atmosférica regional na distribuição temporal e espacial das chuvas no setor oriental da Região Nordeste do Brasil, como em Nimer (1989), já relatavam sobre a extrema complexidade de compreensão acerca do comportamento das chuvas, sua distribuição e inter-relação

com os fatores que a influenciam. De acordo com Anjos *et al.* (2020), os sistemas atuantes, a topografia, a direção predominante dos ventos, a declividade, a orientação das encostas, a vegetação e a urbanização podem ser condicionantes significativos de acordo com a escala de análise. Soares *et al.* (2014), com a finalidade de reconhecer os fatores geográficos atuantes na distribuição espacial da precipitação na Baía de Ilha Grande no Rio de Janeiro, constataram que a relação entre o relevo, o sistema atmosférico atuante e o afastamento do litoral facilitam ou impede o acúmulo de chuvas.

Devido ao advento de novas tecnologias de mensuração de parâmetros atmosféricos e oceânicos, assim como o aumento quantitativo da rede de monitoramento, novos estudos precisam ser realizados. Com o crescimento de novas informações somadas à dinâmica das transformações dos espaços urbanos, surge a necessidade de investigar em menor escala espacial a atuação das chuvas, os fatores de distribuição e as interferências nos setores socioeconômicos, já que os desastres e eventos extremos que ocorrem com maior frequência, possivelmente, estão ligados direta e indiretamente ao fator chuva.

## 2.2. TIPOS DE CHUVAS ASSOCIADOS AOS TIPOS DE NUVENS E SISTEMAS ATMOSFÉRICOS

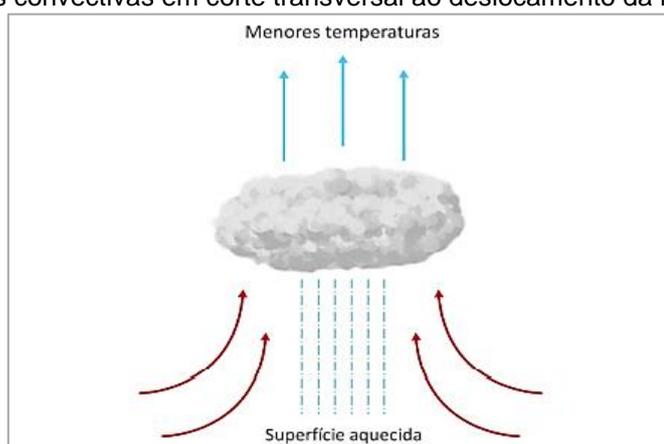
O regime hidrológico de uma determinada localidade é determinado pelo seu clima, que está associado às características físicas, geológicas e topográficas, sendo a precipitação o principal elemento de entrada do balanço hidrológico, sua distribuição e como ocorre. Para a geografia, e para a hidrologia e climatologia, a precipitação é o termo usado para explicar toda umidade descarregada da atmosfera em forma de chuva, granizo, neblina, orvalho, geada ou neve Villela e Matos, 1977).

O estudo da precipitação requer informações sobre seus totais em determinado período, intensidade, duração e distribuição temporal e espacial. Todas as análises teóricas, quantitativas e estatísticas são cruciais, pois auxiliam no controle de alagamentos, enchentes, inundações e na mitigação da erosão do solo. A precipitação pluviométrica é uma variável de fundamental relevância principalmente no contexto tropical devido à sua influência direta na agricultura, no ciclo hidrológico e no clima regional. No entanto, é um elemento desafiador para estudo, pois é um evento aleatório e com dificuldades de previsão com grande antecedência (Hartwig, 2012).

A formação da precipitação está condicionada a fatores e elementos que envolvem a atmosfera, podendo ser em suas mais variadas escalas: global, regional, local, e sua distribuição se relaciona com fatores geográficos de mesoescala. A formação e o tipo das nuvens são fatores que se relacionam diretamente à formação de precipitação (Ferreira, 2006). Os tipos de nuvens se associam aos tipos de chuva, uma vez que explicam, de acordo com sua forma e características, os padrões que a precipitação possui e como ela tende a chegar na superfície terrestre.

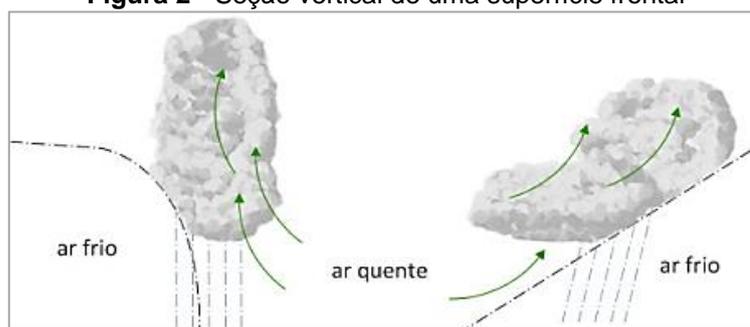
Segundo Torres e Machado (2008) as chuvas podem ser classificadas em três tipos de acordo com sua gênese: convectivas, orográficas e frontais. As convectivas ocorrem a partir da ascensão de uma massa de ar úmida em regiões quentes como é possível observar na Figura 1, sendo, pois, comuns em áreas influenciadas por massas de ar quentes e úmidas. Com o acúmulo de vapor d'água ou com o resfriamento dessa massa de ar (seja devido a altitude ou pela presença de ventos mais frios), dá-se a saturação do ar, originando chuvas pesadas e intensas, mesmo que de duração mais curta. As chuvas convectivas são originadas a partir da formação de nuvens com grande desenvolvimento vertical e um forte gradiente horizontal de refletividade. As precipitações convectivas são caracterizadas por apresentar distribuição irregular no tempo e espaço (Leary e Houze Jr, 1978).

**Figura 1** - Chuvas convectivas em corte transversal ao deslocamento da massa de ar quente



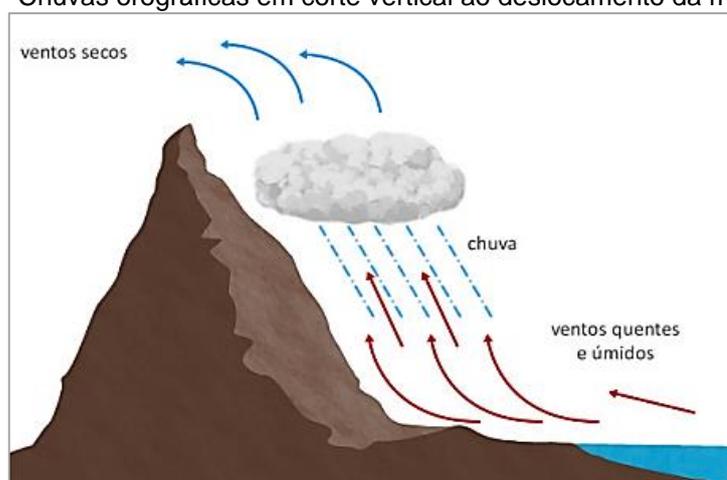
**Fonte:** Hartwig (2012)

As chuvas frontais, estão associadas à instabilidade causada pelo encontro de duas massas de ar com propriedades térmicas diferentes, uma de ar quente e outra de ar frio, ocasionando uma precipitação moderadamente intensa, contínua e que pode atingir áreas bastante extensas (Figura 2) (Torres e Machado, 2008).

**Figura 2** - Seção vertical de uma superfície frontal

Fonte: Hartwig (2012)

As chuvas orográficas ou de relevo, que ocorrem devido à ascensão forçada de ventos úmidos diante de um obstáculo do relevo (Figura 3). Para atravessar o obstáculo, o ar resfria-se (com a altitude), podendo saturar-se. As definições de barlavento e sotavento podem ser explicadas a partir do conceito das chuvas orográficas, uma vez que a face do relevo orientada para direção da massa de ar recebe maior umidade e os maiores volumes de chuva (barlavento), enquanto a face oposta recebe apenas o ar seco, sendo áreas caracterizadas pela baixa umidade (sotavento). Um exemplo próximo é o que acontece nas áreas à barlavento e sotavento do Planalto da Borborema, onde as localidades próximas as encostas orientadas para o oceano recebem maior umidade, e as áreas do lado oposto as encostas voltadas para o continente são caracterizadas pela predominância do ar quente e seco, como as cidades do semiárido do estado de Pernambuco e Paraíba.

**Figura 3** - Chuvas orográficas em corte vertical ao deslocamento da massa de ar

Fonte: Hartwig (2012)

Segundo Mendonça e Oliveira (2007), as nuvens são classificadas em diversos tipos de acordo com sua forma, que é determinada de acordo com a intensidade com que ocorrem os movimentos ascensionais de ar úmido e o seu alcance vertical. A ascensão do ar por convecção, radiação, orografia e sistemas frontais são processos que desencadeiam a formação de nuvens, que somados às condições da troposfera, facilitam a condensação do vapor d'água. Vale ressaltar que esses processos podem ocorrer de maneira interligada, ou seja, um processo convectivo pode formar certos tipos de nuvens que podem se precipitar a partir do contato com o relevo.

Os tipos de nuvens associados aos processos de formação de chuva são chamados de cumuliformes, estratiformes e cirros. Ainda segundo Mendonça e Oliveira (2007), os processos orográficos e frontais podem culminar em todos os tipos de nuvens a depender de sua intensidade. Mendonça e Oliveira (2007) classificam as nuvens em 4 tipos (Tabela 1).

**Tabela 1** - Classificação e características das nuvens de acordo com tamanho de sua base em relação a superfície terrestre

<b>Classificação da nuvem</b>	<b>Principais tipos e características</b>
Nuvens altas	Bases com estão aproximadamente a 7 km da superfície. Os principais tipos são chamados de Cirrus,
Nuvens médias	As bases estão entre 2 e 7 km de altura. São compostas preferencialmente de água e associadas a mau tempo. São as nuvens chamadas pelo prefixo Alto.
Nuvens baixas	As bases estão abaixo de 2 km. São os tipos de nuvens chamadas Estratos, Estratos-cúmulos e Nimbos-estratos.
Nuvens de desenvolvimento vertical	Também classificadas como nuvens baixas, podem chegar até 18 km de extensão. Podem ser chamadas de cúmulos quando pequenas e isoladas e de cúmulus congestus e cúmulus-nimbo quando mais crescidas associadas chuvas pesadas e trovoadas.

**Fonte:** Mendonça e Danni-Oliveira (2009). Adaptado pela autora (2022).

Essas nuvens podem ser identificadas através de imagens da atmosfera terrestre registradas por satélites. Segundo Ferreira (2006), a primeira fotografia foi feita no dia 1º de abril de 1960 (Figura 4) através de uma câmera de TV a bordo do satélite TIROS I (*Television Infrared Observation Satellite*), e impressionou a todos por mostrar uma enorme área coberta de nuvens sobre o planeta terra. As características e os tipos de nuvens citadas anteriormente, são resultantes de uma série de interações entre condicionantes meteorológicos, contudo, ao serem observadas a partir das imagens de satélite, cada uma delas demonstram um padrão único mesmo aparentando semelhanças.

**Figura 4** - Primeira fotografia da atmosfera retirada pelo satélite TIROS I

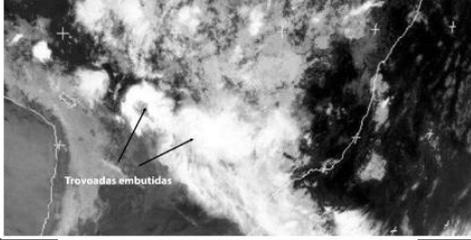
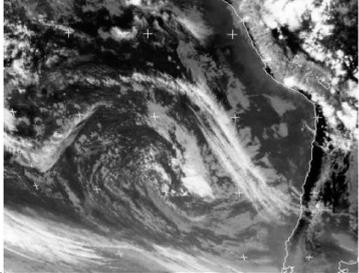
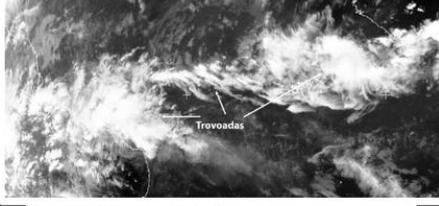
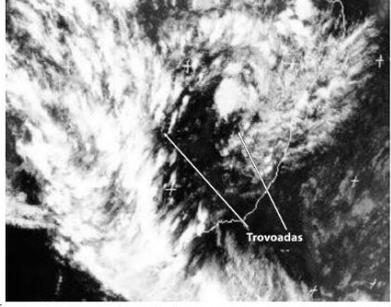
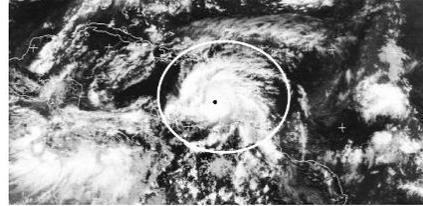


**Fonte:** Ferreira (2006)

É a partir dos padrões apresentados nas imagens de satélite que se percebe a possibilidade de identificar qual o tipo de nuvem e, por conseguinte, as informações sobre o estado da atmosfera, as condições de tempo severo e os fenômenos ocorrentes, tais como as áreas com forte precipitação. Em 1966, a NOAA lançou o primeiro satélite geoestacionário ATS 1 (*Applications Technology Satellite*), possibilitando identificar a partir das imagens o movimento dos sistemas meteorológicos (Ferreira, 2006). As imagens de satélite possibilitam o reconhecimento das nuvens em larga escala, auxiliando na identificação dos sistemas atmosféricos atuantes e os possíveis fenômenos climáticos que ocorrem em determinadas localidades. Dependendo das dimensões e tipos da nuvem, pode ocorrer uma maior ou menor interação com os elementos da paisagem encontrada na superfície terrestre.

Ferreira (2006) além de explicitar que o aquecimento diferenciado da superfície terrestre é um fator condicionante para formação de tempestades, associa os padrões de nuvens identificados a partir das imagens de satélite GOES com fenômenos como as trovoadas. Ele relacionou os padrões visuais de nebulosidade (sendo neste caso a maioria nuvens do tipo cumulus nimbo) à formação das trovoadas em fenômenos de escala sinótica, como os sistemas atmosféricos atuantes que podem ser visualizados no Quadro 1, facilitando assim a visualização da formação das nuvens atreladas a tais sistemas.

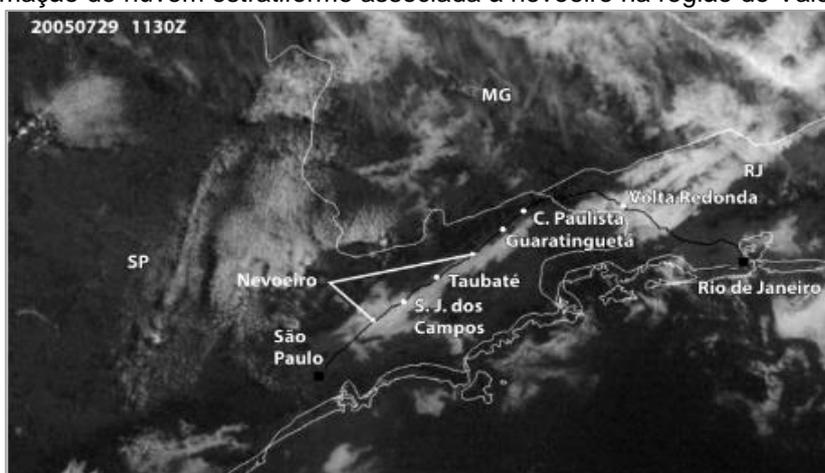
**Quadro 1** - Imagens de satélite mostrando a formação de trovoadas em relação aos fenômenos atmosféricos de escala sinótica e principais tipos de nuvens associadas

Imagem de satélite	Sistemas atmosféricos relacionados	Principais tipos de nuvens associadas
	Sistema frontal	Nimbostratus, Altostratus, Cirrostratus, Cumulonimbus
	Ciclone extratropical	Cirrus, Cirrostratus, Altostratus, Nimbostratus, Stratocumulus, Cumulonimbus.
	Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)	Cumulus, Cumulonimbus.
	Zona de Convergência do Atlântico Sul	Cumulonimbus, Altostratus, Nimbostratus.
	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN)	Cumulonimbus, Cirrus.
	Ciclone Tropical	Cumulonimbus, Nimbostratus, Altostratus, Cirrus.

Fonte: Ferreira (2006). Adaptado pela autora (2022).

Outros fenômenos são exemplificados por Ferreira (2006), como os associados aos fenômenos de mesoescala. Esses padrões demonstram que a partir do conhecimento de qual sistema atmosférico atuante, atrelado ao tipo de nuvem e suas características, podem facilitar os estudos relacionados a distribuição das chuvas em determinada localidade. Um exemplo disso são as nuvens estratiformes, caracterizadas por se formarem em uma atmosfera geralmente estável, com aparência “lisa” ou em camadas, nos baixos níveis da atmosfera. Podem estar associadas a chuvas leves e contínuas, mas que podem ser intensificadas por mecanismos de escala local, como o relevo (Ferreira, 2006), tal qual o exemplo pode ser observado na Figura 5.

**Figura 5** - Formação de nuvem estratiforme associada à nevoeiro na região do Vale do Paraíba-SP



**Fonte:** Ferreira (2006).

Desse modo, poder-se-ia pensar que há maneiras de identificar os tipos de tempo de determinada localidade a partir das imagens de satélite, tendo como base os conhecimentos a respeito das características do sistema atmosférico atuante, assim como as correspondências com a formação das nuvens e da precipitação. Considera-se que essas condições são fundamentais para compreender, posteriormente, os possíveis padrões não somente de climas globais/regionais, mas também dos climas de mesoescala e microescala, atrelados à associação com os demais fatores geográficos observados.

### 2.2.1. Sistemas atmosféricos atuantes em Recife

No intuito de melhor compreender a atuação dos sistemas atmosféricos que produzem chuva no Nordeste, Monteiro (2022) buscou sintetizar o papel dos centros de ação e das massas de ar como importantes mecanismos para produção dos tipos de tempo. Os centros de ação são extensas áreas de pressão atmosférica que afetam os padrões de vento e clima (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007). Eles se movem sazonalmente, influenciados pela variação da radiação solar nos hemisférios, controlando a dinâmica e circulação na América do Sul (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

O Nordeste brasileiro é impactado por esses centros de ação, como o Anticiclone Subtropical do Atlântico Norte (ASAN), o Anticiclone da Amazônia (Doldrum), o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), entre outros (Mendonça e Oliveira, 2007). A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) também desempenha um papel fundamental, sendo influenciada pelo deslocamento do ASAN e do ASAS (Hiera *et al.*, 2019). Os centros de ação desempenham um papel crucial nos deslocamentos das massas de ar, influenciando as características de temperatura e umidade das regiões por onde passam (Barry e Chorley, 2012). A interação entre massas de ar com diferentes características cria zonas de descontinuidade atmosférica, conhecidas como frentes (Mendonça e Oliveira, 2007).

Monteiro (2022) ainda aponta que o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) exerce uma influência significativa sobre os climas das regiões central, Sudeste, Sul e Nordeste do Brasil, como apontado também por Mendonça e Danni-Oliveira (2007). Além disso, deve-se considerar as mais diversas teleconexões entre o oceano e atmosfera tanto no Oceano Atlântico norte e sul (como o dipolo de TSM), quanto no Oceano Pacífico (exemplo da região do Niño 3.4).

Em relação aos sistemas atmosféricos produtores de chuvas na costa leste do NEB, alguns resultados encontrados por Nóbrega e Farias (2016) apontam que um dos principais sistemas atmosféricos atuantes, em Recife, são os Distúrbios Ondulatório de Leste (DOL) em conjunto com a brisa marítima e terrestre, podendo estes estarem relacionados à maioria dos eventos extremos. Ainda há a influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e dos ventos úmidos dos alísios de sudeste com gênese na Alta Pressão Semipermanente do Atlântico Sul (ASAS), que possivelmente, por atuarem mais intensamente durante os meses de abril e maio na

costa leste do NE, podem estar ligados aos grandes volumes de chuvas ocasionados nesse período. As temperaturas da superfície do mar também podem influenciar nos episódios extremos de chuva, visto que a interação oceano-atmosfera, no Atlântico Tropical, pode alterar a circulação geral da atmosfera (Molion e Bernardo, 2002).

Em um estudo realizado por Hounsou-gbo (2015) para investigar a influência do Oceano Atlântico Tropical na variabilidade sazonal e interanual das chuvas em Fortaleza (NNEB) e Recife (ENEb), foi constatado que no ENEb, as chuvas intensas estão correlacionadas com a TSM no Atlântico Tropical Sul. A propagação de anomalias de TSM para noroeste, a partir do sudeste do Atlântico tropical, influencia fortemente as chuvas nessa área. A pesquisa destaca as interações complexas entre oceano e atmosfera, incluindo padrões de TSM, evaporação, ventos e suas influências nos sistemas atmosféricos atuantes que causam chuvas nas regiões estudadas. No entanto, uma das lacunas encontradas foi as contribuições oceânicas para eventos extremos de chuva em escalas intrasazonais, que ainda necessitam de uma compreensão mais aprofundada, sugerindo a necessidade de modelos acoplados oceano-atmosfera para estudos futuros (Hounsou-gbo, 2015).

Outro sistema causador de chuvas (Ferreira e Mello, 2005) é o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN). Os VCANs são formados sobre o oceano Atlântico entre os meses de novembro e março, com deslocamento de leste a oeste com maior regularidade entre os meses de janeiro e fevereiro. Esse sistema pode ter um tempo de vida longo, variando entre 7 a 10 dias, quando identificados nas imagens de satélite, o VCAN se apresenta como um conjunto de nuvens em formato próximo de um círculo girando no sentido horário em que nas bordas se formam as nuvens e há concentração das chuvas, e no centro se forma uma alta pressão, dificultando a formação de nuvens e de precipitação. As frentes frias, outro mecanismo responsável por chuvas no Nordeste do Brasil, são bandas de nuvens que se formam através da convergência entre uma massa de ar fria e mais densa e uma massa de ar quente e menos densa. Esses movimentos das massas de ar formam nuvens e por conseguinte as chuvas.

No que diz respeito aos aspectos dinâmicos do meio oceânico atmosférico e a influência na variabilidade das chuvas, fenômenos como El Niño e La Niña são associados frequentemente ao excesso ou diminuição da precipitação no Nordeste. O fenômeno El Niño, responsável pelo aquecimento acentuado das águas do Oceano Pacífico, a depender de sua intensidade e período de ocorrência pode influenciar

consideravelmente em anos marcados como secos ou muito secos. Quando associado ao Dipolo positivo do Atlântico, que significa a diferença entre a anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na Bacia do Oceano Atlântico Norte e Oceano Atlântico Sul, marca escassez de precipitação. Já o La Niña, responsável pelo resfriamento das águas, é comumente atrelado aos anos considerados normais, chuvosos ou muito chuvosos, e, se relacionado ao Dipolo negativo do Atlântico, favorável às chuvas (Ferreira e Mello, 2005).

Machado *et al.* (2012), em um estudo a respeito das DOLs e sua influência nos eventos extremos no estado de Pernambuco, notaram que, um evento extremo ocorrido em junho de 2010 e que tomou maiores proporções em municípios da zona da mata sul do estado, demonstrou atuação de um Distúrbio Ondulatório de Leste (DOL). Em junção a esse sistema, atuavam outros sistemas atmosféricos de grande escala em confluência com duas anomalias sobre os oceanos: La Niña com temperaturas abaixo da média sobre o Pacífico, e com temperaturas acima da média sobre o Atlântico Tropical. Ainda segundo Machado *et al.* (2012), o acumulado de precipitação chegou a ultrapassar 250 mm em 24 horas em alguns municípios, ocasionando precipitações bastante intensas e conseqüentemente uma grande inundação.

Os principais tipos de nuvens associados aos sistemas atmosféricos atuantes em Recife, são responsáveis pela formação de diferentes tipos de nuvens. Dentre essas, destacam-se principalmente as nuvens de desenvolvimento vertical e as nuvens estratiformes, que desempenham papéis cruciais na precipitação e na variação das condições climáticas na região.

As nuvens de desenvolvimento vertical, como os cumulonimbus e cumulus congestus, são comuns em situações de forte convecção atmosférica, frequentemente associadas aos DOLs e VCANs. Estas nuvens se formam devido à rápida ascensão do ar quente e úmido, que, ao atingir camadas superiores da atmosfera, se condensa, formando nuvens com grande extensão vertical.

#### 2.2.1.1. Distúrbio Ondulatório de Leste (DOL)

Apesar do município do Recife ser acometido por vários sistemas atmosféricos, são os conhecidos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) ou Ondas de Leste (Algumas discussões apontam que o segundo termo indica uma condição atmosférica

normal, sendo mais correto utilizar a palavra “distúrbio” para reforçar que o DOL ocorre em situação irregular), um dos principais responsáveis por levar as chuvas para essa região em quantidades e intensidades elevadas (Silvestre, 1996). Apesar de ser um fenômeno que vem sendo estudado há mais de quarenta anos, ainda existem questões que dão complexidade ao entendimento a respeito dos DOLs na faixa tropical do NEB.

Dunn (1940) foi um dos primeiros autores a identificar os DOLs a partir de estudos em que foi possível notar uma movimentação das isóbaras de 24h na região do Caribe, seguindo de leste para oeste. Esses estudos foram aprofundados por Riehl (1945) a partir de modelos que confirmaram a teoria de Dunn, mostrando que os campos de pressão na região do Caribe se deslocam para oeste. Ele identificou que as nuvens que se relacionam as Ondas de Leste foram um V-invertido, e tais ondas tem características de velocidade de fase de 6deg. longitude por dia, período de 3 a 4 dias e comprimento horizontal de onda de 2000 a 3000 Km.

Outras características fundamentais encontradas por Riehl (1945) e que são usadas até hoje na determinação dos DOLs, foram as condições de tempo que se associam aos DOLs, sendo um bom tempo encontrado à subsidência a oeste do cavado e mau tempo a leste do cavado. Além disso, a movimentação mais lenta da onda do que a corrente básica na baixa troposfera, um núcleo de ar mais frio do que a vizinhança, uma intensidade máxima da onda em torno de 700hPa a 500hPa, e a inclinação para leste com a altura.

Associa-se a formação de DOLs a pequenos vórtices que se deslocam com os ventos alísios (Krishnamurti, 1979), estando a origem desses vórtices associadas a restos de depressão de latitudes médias que se movimentam em sentido ao Equador, e em alguns casos, a partir da maior interação com os cavados (Asnani, 1993). Segundo Hall (1989) os estudos a partir das imagens de satélite detectaram os DOLs surgindo na África Central, sugerindo similaridades com as ondas de leste que se originam sobre o oeste africano.

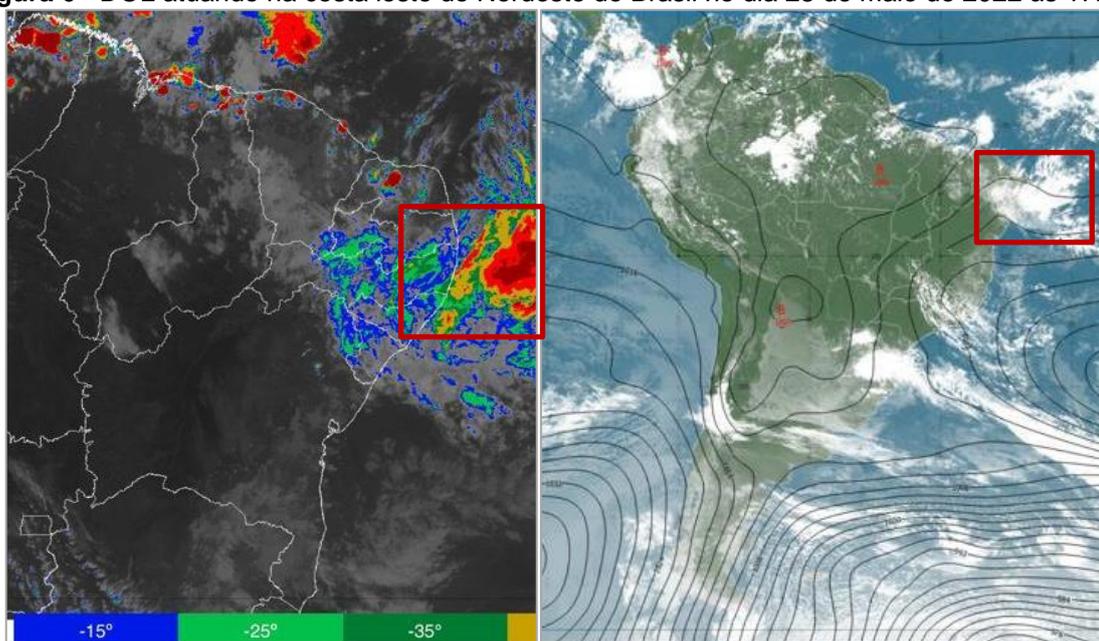
Yamazaki (1975) se debruçou em estudos a respeito do comportamento das perturbações que acometiam a região tropical do Oceano Atlântico Sul e costa do Brasil, concluindo que os elevados índices de pluviosidade nos meses de inverno estão ligados aos DOLs. Chou (1990) buscando aprofundar o entendimento das ondas de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul, nas proximidades das regiões Norte e Nordeste do país, encontrou a partir das análises do espectro cruzado constatações

que de março a maio as DOLs possuem um comprimento de onda de 3300 km e se propagam em uma velocidade de fase de aproximadamente  $9,5 \text{ ms}^{-1}$ , e de junho a agosto com comprimento ainda maior de 5200 km e com velocidade de  $15 \text{ ms}^{-1}$ .

Segundo Mota (1997) o sistema ondulatório de leste modifica as condições de tempo ao longo de seu percurso, tendo com fonte de energia primordial a liberação de calor latente através dos processos de convecção profunda. Diante disso, é um sistema que causa perturbações nos campos de pressão e de vento. A identificação de um DOL pode ser feita através de imagens de satélite e de cartas de isóbaras, como as que estão apresentadas na Figura 6, nas quais podem ser visualizadas um DOL em atuação na costa leste do NEB. Este sistema, favorece a formação de nuvens cumulonimbus, responsáveis por chuvas intensas e tempestades. As DOLs são típicas do período chuvoso na costa leste do Nordeste brasileiro, incluindo Recife, e estão frequentemente associadas a eventos de precipitação convectiva intensa.

Em uma carta sinótica, os DOL podem ser representados como uma área de baixa pressão alongada ou uma depressão tropical. O eixo da onda tropical é visível como uma linha ou uma área de pressão mais baixa em relação às áreas circundantes. É possível observar também a convergência dos ventos na área do DOL. Nas imagens de satélite, os DOL geralmente aparecem como áreas alongadas de nuvens e convecção associadas à onda tropical. Essas nuvens podem ser visíveis como faixas ou bandas de nuvens em movimento em direção ao oeste (Figura 6).

**Figura 6** - DOL atuando na costa leste do Nordeste do Brasil no dia 28 de maio de 2022 às 17:00h



**Fonte:** INMET/Satélites (2022). Adaptado pela autora (2023).

É possível observar na imagem do satélite GOES 16 no campo do infravermelho termal, a temperatura associada ao topo das nuvens. Nota-se o desenvolvimento de células de convecção profunda, que ganharam força a partir da TSM no atlântico, devido a uma atuação da La Niña em confluência (Machado *et al.*, 2012).

Alguns estudos realizados por Gomes *et al.* (2019), a respeito da climatologia associada aos DOLs no Oceano Atlântico Sul Tropical (TSA), identificou uma frequência de 16 a 40 DOLs por ano com duração média de 4 a 6 dias. De todos os eventos identificados, 97% atingiram o litoral do nordeste brasileiro, e 64% foram de natureza convectiva, enquanto 14% adentraram o NEB e atingiram a região da Amazônia. Outro resultado interessante é que segundo os autores, a ocorrência de DOLs é menor durante o período de El Niño e maior em anos sob influência do La Niña.

O sistema, que já vinha em atuação nos dias anteriores, perde e ganha força novamente no dia 28, aumentando consideravelmente a área coberta por nuvens. A estrutura do DOL, representada por um cavado invertido situado no leste do Nordeste e área oceânica adjacente, é visualizada no campo da pressão ao nível médio do mar às 17:40 UTC do dia 28 de maio. Foram registrados mais de 200 mm de chuva em 24h em Recife, um dos municípios mais atingidos pelo sistema.

Em suma, os Distúrbios Ondulatórios de Leste são ondas atmosféricas que se movem de leste para oeste nas regiões tropicais em determinadas épocas do ano (na costa leste do NEB no outono-inverno). São perturbações no campo de pressão e vento (alísios), ocasionados por instabilidade atmosférica associados a diferenciações de temperatura oceano-atmosfera e perturbações no campo de pressão. À medida que os ventos se movem sobre as águas quentes do oceano, os DOLs podem adquirir umidade e calor da superfície do mar, que são ingredientes essenciais para intensificação desse sistema.

### 2.2.1.2. Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) e Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

Um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), ou Cavado em Altos Níveis, é um sistema atmosférico caracterizado por uma área de baixa pressão na alta troposfera, geralmente localizada a uma altitude de 5 a 10 quilômetros acima da superfície da Terra. Essa baixa pressão na alta atmosfera é geralmente associada a um padrão de circulação anticiclônica (sentido horário no Hemisfério Norte e sentido anti-horário no Hemisfério Sul), que é oposto ao padrão de circulação dos ciclones de superfície.

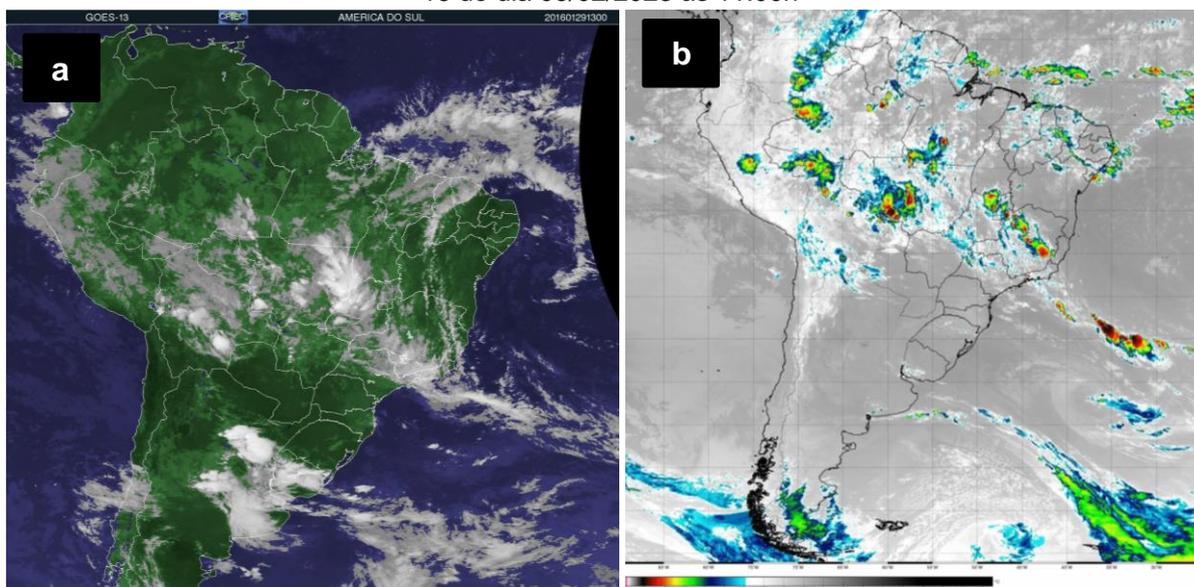
Em pesquisa realizada por Reis (2018) foi constatado que em relação ao padrão de circulação do sistema no Nordeste do Brasil e Atlântico Tropical Sul, estes se formam na alta troposfera e apresentam máxima vorticidade a 250 hPa e um centro frio a 300 hPa, tendo maior frequência de atuação nos meses de verão. Os VCANs se estendem geralmente de 500 hPa a no máximo 700 hPa, tendo um tempo de vida médio de 5 a 7 dias. Outra constatação a respeito dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis, foram as relações com a Alta da Bolívia, uma vez que se originam a partir de sua amplificação, e seu deslocamento pode ser regular ou irregular.

Entretanto, a formação de um VCAN está associada a uma série de fatores, incluindo variações na temperatura da superfície do mar, diferenças de pressão atmosférica e padrões de vento em altos níveis da atmosfera. Em regiões costeiras, como Recife, a presença e o deslocamento de um VCAN pode ser influenciada pelas temperaturas da água do mar e pela topografia local (Ferreira, 2009).

De acordo com estudos anteriores (Reboita *et al.*, 2016; Pontes da Silva *et al.*, 2011; Reis, 2018), os VCANs são identificados como sistemas de pré-estação, com destaque para sua influência na distribuição de chuva nas áreas de sua periferia durante os meses de verão. No entanto, quando localizados sobre o NEB, eles têm o potencial de causar uma redução nas precipitações. É importante notar que sazonalmente, durante o verão astronômico, os VCANs são mais frequentes nas regiões litorâneas e centro-sul da Bahia, bem como na região central de Pernambuco. Já durante o outono, a região central e litorânea da Bahia registra a maior ocorrência desses vórtices (Ferreira, 2017). Os VCANs favorecem a formação de nuvens de grande desenvolvimento vertical. Esse tipo de nuvem geram tempestades que podem resultar em chuvas intensas e, ocasionalmente, em granizo.

A atuação do VCAN em Recife é frequente durante todos os anos, principalmente nos meses de dezembro a março, como é possível observar nas imagens do GOES e GOES 16 na Figura 7 (a) e (b).

**Figura 7** - (a) Imagem do satélite GOES do dia 29/01/2016 às 13:00h; (b) Imagem do satélite GOES 16 do dia 06/02/2023 às 11:00h



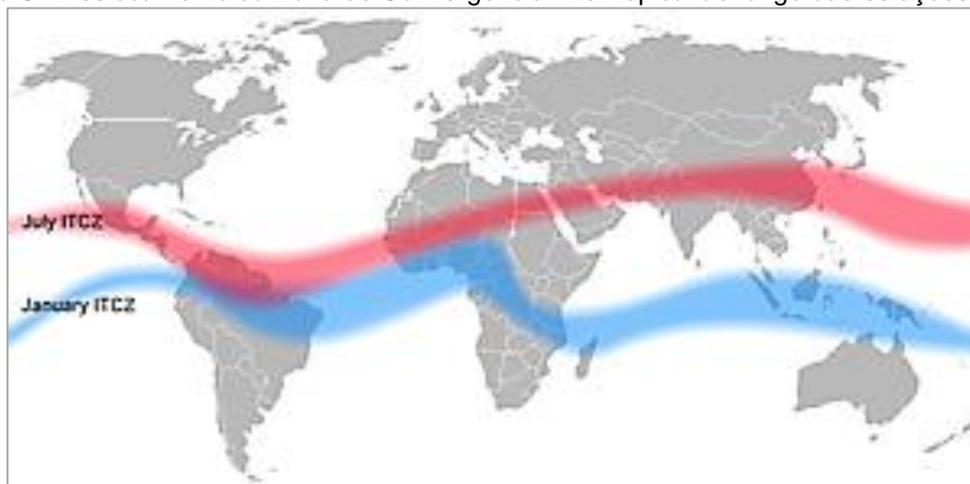
**Fonte:** CPTEC/INPE (2016) / CPTEC/INPE (2023).

Nas imagens, é possível notar a presença do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis como uma área de nuvens em espiral ou curvas que se estendem por uma ampla área. As nuvens ao redor dele giram no sentido anti-horário. Na Figura 7 (a) percebe-se uma distribuição de nuvens cirrus e cirrostratus que cobrem uma área extensa, mas com pouca intensidade no estado de Pernambuco, que se encontra no centro do sistema. Já na Figura 7 (b) a borda do VCAN atua sobre a costa leste do NEB, proporcionando a formação de nuvens mais densas e conseqüentemente chuvas fortes.

Além dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis, que atuam no período do verão no Nordeste, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) se desloca para o sul em resposta a inclinação do sol no mesmo período (Figura 8). Nesse período, a ZCIT é uma das principais responsáveis pelas chuvas intensas e frequentes em grande parte do Nordeste. Durante a primavera e o outono, a ZCIT se desloca gradualmente, acompanhando o movimento aparente do Sol (Ferreira, 2009). Essas estações podem apresentar variações na quantidade e distribuição das chuvas, à medida que a ZCIT se move. Já no inverno, que compreende os meses de junho a setembro, a ZCIT se

desloca mais para o norte, e as precipitações são menores no norte do Nordeste com temperaturas mais baixas. Entretanto, a atuação de outros sistemas que atuam na costa leste do Nordeste, trazem fortes chuvas para região.

**Figura 8** - Deslocamento da Zona de Convergência Intertropical ao longo das estações do ano



Fonte: Mats Halldin (2006).

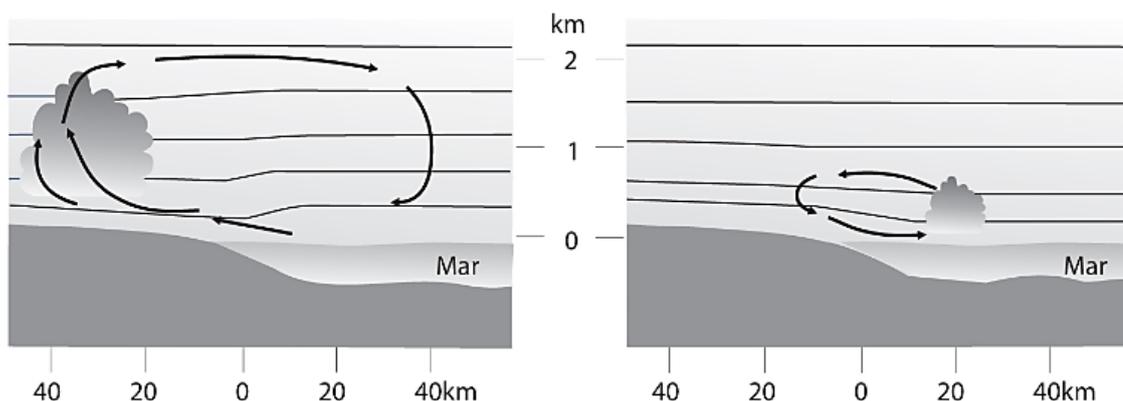
A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é uma banda de convergência de ventos que se forma nas regiões tropicais, geralmente perto do equador. Ela é caracterizada pela convergência dos ventos alísios do hemisfério norte e do hemisfério sul, resultando em ascendência de ar quente e úmido, o que leva à formação de chuvas intensas e frequentes (Ferreira, 2006). As nuvens estratiformes, como nimbostratus e altostratus, são mais associadas a esse sistema, responsáveis por chuvas generalizadas e prolongadas, típicas de climas tropicais úmidos.

É válido ressaltar que os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis podem influenciar a posição e a intensidade da ZCIT. A presença de um VCAN nas proximidades da ZCIT pode alterar o padrão de ventos e a dinâmica atmosférica na região, afetando a localização da ZCIT. Além disso, VCANs podem contribuir para a formação de áreas de convergência de ventos nas proximidades da ZCIT, o que pode resultar em áreas de precipitação intensa. Essas áreas de precipitação podem ser mais persistentes e concentradas quando há interação entre um VCAN e a ZCIT.

### 2.2.1.3. Brisas marítimas

A influência da brisa é fundamental para explicar o padrão diurno do vento (Barreto *et al.*, 2002), especialmente em áreas costeiras. Durante o dia, o aquecimento mais rápido do continente em comparação com a água torna o ar menos denso, resultando no movimento do mar para a terra (ventos *onshore*) nos níveis mais baixos devido à circulação das áreas de alta para baixa pressão. Isso caracteriza a brisa marítima. À noite, ocorre o processo oposto (ventos *offshore*), conhecido como brisa terrestre. Na representação visual realizada por Ferreira (2009) na Figura 9, é possível perceber como ocorre a atuação das brisas com mais nitidez. As linhas horizontais representam isóbaras, enquanto as setas a direção dos ventos.

**Figura 9** - Seção vertical da atmosfera próxima à costa mostrando as brisas marítimas (esquerda) e terrestre (direita)



**Fonte:** Ferreira (2006).

O município do Recife é fortemente influenciado pelas brisas marítimas, especialmente durante os meses mais quentes e úmidos do ano. Durante a atuação da brisa marítima, pode ocorrer o desenvolvimento de nuvens e precipitação. A convergência de ar úmido na região costeira pode levar a chuvas localizadas, muitas vezes no final da tarde ou à noite. Uma questão levantada por Ferreira (2006) é que a intensidade da nebulosidade formada pelo sistema de brisas está ligada à concavidade da linha costeira, podendo causar convergência ou divergência do ar em deslocamento.

Esses fatores podem explicar os elevados totais pluviométricos no município do Recife, durante a atuação de sistema causadores de chuvas como os Distúrbios

Ondulatórios de Leste juntamente com as Brisas, uma vez que aumentam ainda mais a instabilidade atmosférica, os DOLs intensificam as brisas e causam chuvas locais intensas, que combinadas a fatores geográficos locais podem causar danos significativos ao sítio urbano do município e seus habitantes.

Mudanças nos parâmetros meteorológicos, como a direção e velocidade do vento, temperatura e umidade, são indicativos significativos da presença e desenvolvimento da brisa marítima. Essas discrepâncias meteorológicas se tornam mais evidentes na interface entre o ar terrestre e o ar marítimo, onde a fronteira da brisa se forma (Keith, 2004).

À medida que a brisa marítima avança para o interior continental, essas diferenças começam a diminuir, tornando-se menos propícias para a formação das nuvens cumulus que normalmente estão associadas à umidade da brisa. Isso ocorre devido à mistura gradual de tais parâmetros, conforme observado por Simpson (1977).

Uma questão peculiar para atuação das brisas em Recife é a sua topografia com uma grande área de planície circundada por tabuleiros, que contribui para a formação de áreas de convergência e divergência de ventos ao longo da linha costeira, afetando a circulação do ar e a distribuição de precipitação na região. Com a forte influência marítima, as brisas contribuem para a formação de nuvens como stratocumulus e altostratus, que podem trazer chuvas leves e persistentes.

### 2.3. A EXCEPCIONALIDADE DAS CHUVAS EM RECIFE E OS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

Compreender a dinâmica climática abarca também se estender às suas excepcionalidades. Segundo Monteiro (1991) os estados de tempo atmosférico oscilam e causam certas eventualidades que se desviam da normalidade, entretanto devem ser encarados principalmente pelas suas consequências e implicações socioespaciais. À vista disso, a excepcionalidade do clima é uma das principais formas de interpretar e destrinchar a ligação entre os elementos do clima e o funcionamento da sociedade (Armond, 2014).

Os eventos pluviais extremos são eventos de grande magnitude tidos como incomuns dentro do ritmo climático cotidiano de certa localidade. Eles podem ser considerados positivos ou negativos a depender dos impactos causados, tendo em vista a infraestrutura dos territórios afetados, e dependendo da grandeza, podem ser

compreendidos e enquadrados de formas distintas, como desastres naturais ou eventos naturais extremos (Brandão, 2001). Apesar de fenômenos naturais, esses eventos podem impactar de forma diferente um mesmo território, levando em conta os condicionantes antrópicos resultantes das transformações espaciais, bem como a interação com os sistemas e fenômenos atmosféricos (Christofolletti, 1997; Girão, 2009).

Armond (2014), traz uma síntese sobre estudos na área de climatologia geográfica que investigaram os eventos extremos de precipitação em diversas cidades do Brasil. A partir de então, a autora discutiu sobre o que se pode considerar um evento meteorológico extremo. Destacam-se duas perspectivas de definição dos eventos extremos; a primeira relaciona-se a magnitude do evento, e a segunda às repercussões do fenômeno no espaço geográfico. Wanderley *et al.* (2018) ao buscar investigar o comportamento da precipitação na cidade do Recife, cita que se pode considerar um evento pluviométrico com grande magnitude, aqueles com totais diários acima de 50 mm. De toda forma, entende-se que muitas vezes em poucas horas, uma chuva ininterrupta e com muita intensidade pode acarretar episódios de alagamentos na cidade.

Grande parte da população que habita o município do Recife enfrenta cotidianamente questões relacionadas à pluviosidade, principalmente no período chuvoso, que compreende o interstício de abril a agosto, em que há um aumento da precipitação. A variabilidade no comportamento pluviométrico pode ser considerada em face da dinâmica atmosférica da região e de fatores, como o relevo, direção predominante dos ventos, orientação das encostas, tipos de chuvas, dentre outros (Anjos *et al.*, 2020). Devido a particularidades geográficas, a distribuição espacial das chuvas, nos diferentes bairros que compõe o município do Recife, pode ocorrer de forma distinta e em diferentes escalas, aumentando a complexidade das variações espaço-temporais e demandando um reconhecimento do comportamento da precipitação.

Cabe salientar que, segundo aponta Goudard (2019), a variabilidade é intrínseca ao fenômeno climático, manifestando-se como a flutuação das condições climáticas em relação à média climatológica, e pode ser avaliada por meio de desvios padrões ou coeficientes de variação (Conti, 2005; Tavares, 2001). Autores como Nascimento Junior (2017) e Tavares (2001) reforçam sua ligação com os princípios da periodicidade e ciclicidade das dinâmicas atmosféricas.

Dessa forma, a identificação dos condicionantes naturais e antrópicos que ampliam os impactos causados pela chuva, no município do Recife, possibilita a criação de possíveis planos de contingenciamento de desastres sem negligenciar os aspectos ambientais e socioeconômicos (Luna e Silva, 2022). Sabendo-se que, possivelmente, exista uma relação entre as áreas que concentram maiores volumes de chuvas e vulnerabilidade (Anjos *et al.*, 2021), tais fatores podem, de forma mais ampla, situar uma compreensão acerca de como eles atuam na variação espacial, auxiliando em um planejamento mais eficaz dos riscos.

Segundo dados do Atlas Brasileiro de Desastre Naturais 1991 a 2012 (2013), alguns dos desastres que acometem o município do Recife, em virtude das chuvas severas, são as enxurradas, os alagamentos, os movimentos de massa e as inundações. A priori, se faz necessário a leitura no que diz respeito às inundações e alagamentos com enfoque nas áreas urbanas, suas consequências no contexto da cidade e de uma população que sofre por esses transtornos, e a partir disso identificar áreas que são mais propensas a essas situações.

Inundações, segundo Kobiyama *et al.* (2006), são caracterizadas pelo aumento dos níveis do rio além da vazão normal, ocorrendo o transbordamento para áreas próximas aos rios. As enchentes representam o aumento do nível do rio, sem que ocorra o transbordamento para áreas próximas, se diferenciando da inundação em que ocorre o transbordamento.

Nas áreas urbanas, fatores como a impermeabilização do solo, aterros e construção de condutos pluviais podem intensificar as inundações (Tucci, 2002). Essas alterações antrópicas podem condicionar uma série de consequências como o aumento da vazão máxima, uma maior frequência de inundações, aumento da velocidade do escoamento, resultando em erosão do solo e produção de sedimento para o sistema de drenagem, o aumento dos resíduos sólidos que escoam no sistema de condutos. Os sólidos produzem entupimento e reduzem a capacidade de escoamento de condutos e canais, produzindo maiores inundações (Tucci, 2012).

É crucial destacar a relação direta entre as inundações e o aumento do nível do mar, que ameaça as áreas costeiras de Recife (Sousa Neto, 2009). Esse fenômeno, causado pelas mudanças climáticas, torna as regiões costeiras e as adjacentes a corpos d'água ainda mais vulneráveis. O aumento do nível do oceano em Recife, resultante da expansão térmica das águas devido ao aquecimento global,

leva à inundação de áreas urbanas, colocando pressão adicional sobre os manguezais, afetando o equilíbrio hídrico e a biodiversidade desses ecossistemas.

Todas essas alterações antrópicas podem afetar também na questão dos alagamentos, que segundo o IPT (2007) definiu como um acúmulo momentâneo de águas em determinado local por problemas de drenagem. Segundo Amaral e Ribeiro (2009) os locais de ocorrência dos alagamentos não dependem necessariamente de estarem próximos a cursos d'água, entretanto, a ausência de uma drenagem eficiente e a forma de uso do solo são determinantes nesse processo. A disposição de lixo em bueiros e em galerias de drenagem no município, podem impactar significativamente na drenagem e prejudicar ainda mais eventos de alagamento.

A topografia também é um fator importante para a ocorrência do fenômeno de inundação. Áreas mais baixas e ribeirinhas tendem a sofrer mais com as inundações que outras áreas de uma cidade. No caso do município do Recife, grande parte do sítio urbano está situado sobre uma planície que foi formada a partir da deposição de sedimentos numa baía rasa entre o rio Capibaribe e o rio Beberibe e que, segundo Almeida e Côrrea (2019), a sucessão e transgressões marinhas permitiu a formação de uma planície fluviomarinha que propiciou o condicionamento hidrodinâmico atual e a estruturação de uma densa e ramificada rede de drenagem. Ao longo da formação do Recife, esses espaços foram utilizados estrategicamente para funções portuárias, escoamento da produção açucareira, militar e mais tarde, político-administrativa e comercial.

Outro ponto, é relação entre o clima e o bem-estar humano, que é complexa, e depende fortemente das condições ambientais locais. Como observado por Silva et al. (2007), as influências climáticas podem tanto ter impactos negativos quanto positivos. É crucial aprofundar nossa compreensão desses efeitos, especialmente em nações onde as políticas públicas frequentemente falham ao buscar soluções para problemas em vez de mitigá-los (Soek *et al.*, 2023).

Dos impactos socioambientais causados pela inundação à sociedade, existe o risco à saúde, interferindo diretamente na qualidade de vida das pessoas. Nos períodos chuvosos, áreas que são habitadas em locais mais propensos as inundações, combinado de fatores como a precariedade dos serviços de saneamento e da coleta de lixo, estão vulneráveis a uma possibilidade de surtos epidêmicos de doenças de veiculação hídrica (Confalonieri, 2003). Além disso, há os danos

psicológicos que podem ser desencadeados após grandes inundações, diante o enfrentamento de perdas materiais e humanas.

Pesquisas recentes apontam que o aumento nos casos de dengue, Zika e Chikungunya está intimamente relacionado à pluviosidade (Anjos, 2021), especialmente nas áreas urbanas onde o processo de urbanização desordenada ocorreu a partir dos anos 1980. Em Recife, os elevados volumes de chuvas durante a temporada chuvosa (de abril a junho) resultam em frequentes inundações urbanas, criando condições ideais para a proliferação do vetor *Aedes*, responsável pela transmissão dessas doenças (Soek *et al.*, 2023).

Diante desse contexto, pesquisadores tem buscado compreender os padrões desses impactos nas comunidades a partir de fatos históricos. Segundo Girão (2012), o reconhecimento e o entendimento de eventos climáticos extremos ao longo da história, além dos seus impactos severos, contribuem para a análise dos perigos potenciais enfrentados pelas populações que habitam regiões vulneráveis a tais ocorrências. Em um trabalho realizado por Armond e Sant'Anna Neto (2012), os autores utilizaram a mídia expressa para levantamento e análises de episódios extremos de chuva no Rio de Janeiro, identificando os tipos de danos causados e as áreas afetadas. Destaca-se que as informações de cunho qualitativo podem auxiliar na complementação de dados meteorológicos.

Um exemplo da ocorrência de evento extremo no município do Recife e em sua Região Metropolitana, ocorreu no ano de 2010. Alguns sites de notícias traziam nas manchetes a ocorrência do evento pluvial extremo como a maior tragédia da década, fazendo com que a prefeitura decretasse estado de alerta máximo no município. Esse episódio deixou dezenas de pessoas mortas, milhares desabrigadas e desalojadas, além dos muitos deslizamentos de barreiras, estradas danificadas e casas levadas pela enxurrada (FOLHA UOL, 2010).

Diante disso, e das diferentes formas de uso e ocupação dos solos no município do Recife, eventos extremos de chuva se processam de forma distinta. E como apontado por Oliveira *et al.* (2011), as políticas públicas de ordenamento territorial não abarcam de forma igualitária as múltiplas realidades socioambientais e econômicas das diferentes áreas presentes nos territórios urbanos. Os maiores impactos deixados por esses eventos extremos podem deixar várias pessoas desalojadas, desabrigadas e mortas.

Como forma de diminuir os danos, tanto materiais quanto humanos, existe a necessidade de acompanhar a evolução diária das condições meteorológicas, bem como monitorar com maior eficácia o nível dos rios, a fim de antecipar a possibilidade de ocorrência de inundações e outros eventos. Entretanto, essa previsibilidade e monitoramento ainda são realizados de maneira insuficiente dentro do processo de gestão dos riscos, dificultando a redução das vulnerabilidades nas áreas mais afetadas aos desastres decorrentes das chuvas.

Com isso, há ainda a necessidade de compreender além dos condicionantes antrópicos, quais são os fatores geográficos relacionados à ocorrência dos eventos extremos no município.

### **2.3.1. Fatores geográficos do sítio urbano do município do Recife condicionantes ou agravantes dos episódios de chuvas intensas**

A urbanização no Brasil ocorreu de maneira intensa e acelerada, fazendo com que as transformações nas mais diversas paisagens desencadeassem graves problemas nas grandes cidades. Esses problemas estão, a princípio, atrelados à maneira de se pensar a produção do espaço urbano, tendo em vista os reflexos de uma apropriação pouco consequente dos sítios urbanos, sustentados segundo o modo de produção capitalista (Armond, 2014). Foi ao longo do tempo, que essa lógica do capital, através das relações de trabalho, deu teor de comércio à terra, elevando ou diminuindo seu valor e preço a partir de suas características, como proximidade da praia, das áreas verdes, dos cursos d'água e entre outros. Armond (2014) reflete que, diante da falta de características que possam elevar o valor da terra, exploram-se as maneiras de alterar o sítio urbano para que dessa forma, ele possa se enquadrar nas condições necessárias para ser comercializado.

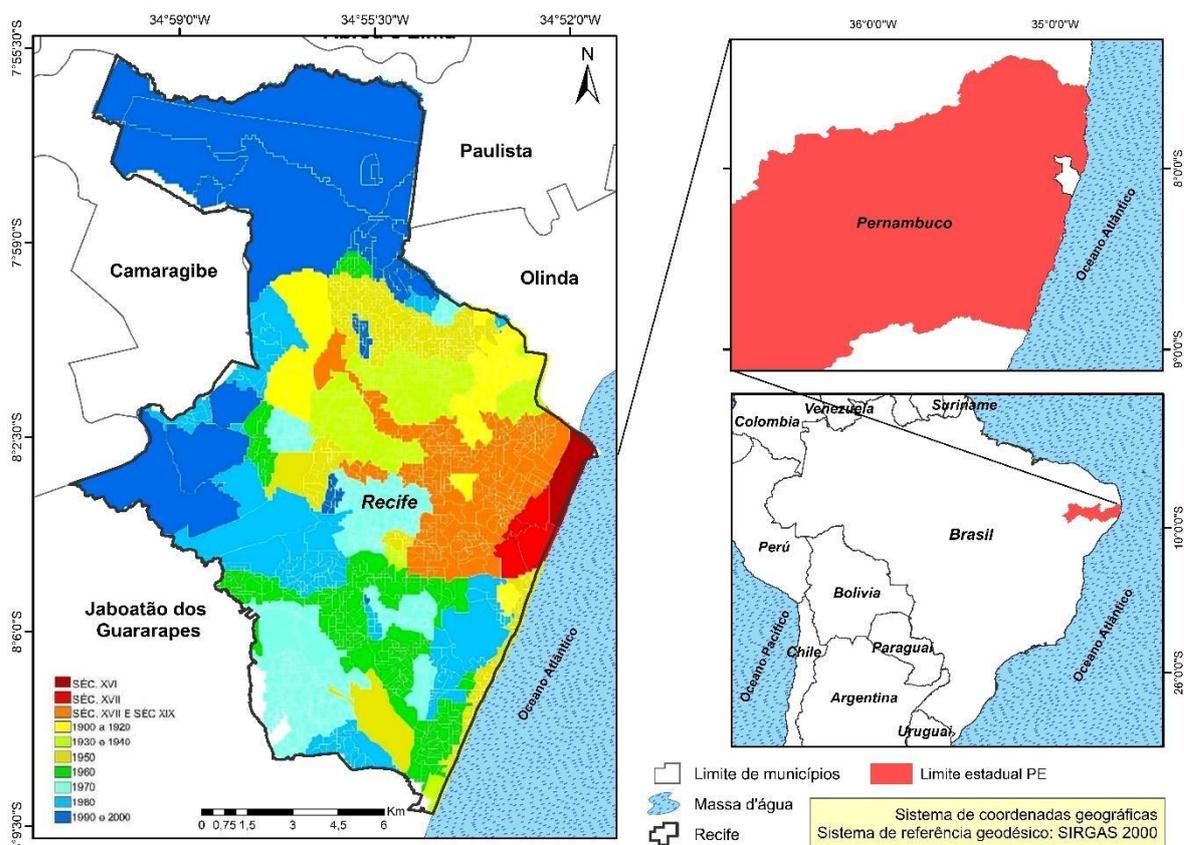
Foi diante desse contexto que as paisagens da cidade do Recife foram sendo apropriadas e produzidas, conforme os interesses das classes dominantes. No final do século XIX, principalmente após a Abolição da Escravatura, a cidade do Recife começa a crescer devido ao fluxo migratório provenientes dos engenhos, em busca de empregos. Neste período, houve um aumento considerável da construção de mocambos e palafitas sobre os manguezais, alagados, nas margens dos leitos dos rios. Essa população que foi para a cidade em busca de emprego, era economicamente mais vulnerável e a habitação conseguida, não era digna. Faltando

oportunidades de empregos, essas pessoas começaram a utilizar o próprio manguezal para subsistência (Almeida e Côrrea, 2019).

Sendo assim, o processo de urbanização da cidade do Recife tem impulso no século XX, e é delineado por características peculiares como a atribuição de valor à terra, reforçado pelas condições ambientais e naturais do sítio urbano. Cabe salientar que explicar a ocupação e as conseqüentes aglomerações urbanas da cidade do Recife, implica em compreender as condições relativas à sua posição geográfica (Melo, 2012). Foram as vantagens relativas à geografia, que influenciaram na chegada de elementos e responsáveis pela exploração econômica e ocupação humana do que hoje constitui um grande centro urbano.

Ao longo do século XX, o Recife enfrentou desafios urbanísticos, como a gestão inadequada do crescimento urbano e a expansão das áreas urbanas. Conforme apontado por Santos (2011) na Figura 10, a população cresceu rapidamente, resultando em um aumento na demanda por moradias, infraestrutura e serviços urbanos. A ocupação da terra foi incentivada por construções de conjuntos habitacionais principalmente em áreas periféricas (áreas de tabuleiros costeiros identificadas na Figura 10 entre as variações de cores amarelo e verde claro), muitas vezes sem infraestrutura básica, como saneamento básico e acesso a serviços públicos.

**Figura 10** - Expansão urbana do Recife do século XVI até a década de 90 e 2000



Fonte: Santos (2011). Adaptado pela autora (2023).

A síntese realizada por Santos (2011) sobre a evolução da expansão urbana do Recife ao longo dos séculos e décadas, destacam um aumento dessas áreas inicialmente no litoral, e posteriormente, adentrando o continente em direção a outras localidades. Atualmente, observa-se também um crescimento urbano para os municípios limítrofes a Recife e de sua região metropolitana, como Jaboatão dos Guararapes, Olinda, Camaragibe, Cabo de Santo Agostinho e outros, a partir de uma conexão cada vez maior com a cidade polo, Recife, já que ela se encontra bastante adensada. Segundo Bitton (2005) essas relações entre cidades satélites e cidade polo, demanda uma série de condições, como infraestrutura para deslocamentos pendulares de casa/trabalho/trabalho/casa, e outros diversos fins, sejam lazer, estudos etc.

Tendo em vista as condições primárias da paisagem do Recife, que tinha em sua maioria um terreno plano, cortado por diversos corpos hídricos, com uma vegetação densa predominantemente de floresta Atlântica, restinga e manguezais, encontra-se hoje uma fisionomia urbana que passou a existir e se assentou nessa paisagem a partir das modificações através dos aterros, das pontes e avenidas e das

construções (Melo, 2012). Essas construções foram soerguidas sobre os mangues aterrados, de córregos, rios e lagos, e atualmente uma visão panorâmica do Recife se faz perceber a influência da água por toda parte, como cita Valdemar de Oliveira (1942, p. 38) “o que não é água, foi água ou lembra água, sendo essa a razão por que a chamam de cidade anfíbia”.

Para elucidar melhor o contexto, a Figura 11 apresenta um comparativo entre uma foto antiga do Recife, no bairro do Pina em 1940 e uma imagem do Google Earth extraída em 2022. Na figura é possível enxergar a Paróquia Nossa Senhora do Rosário (Igreja do Pina), e do lado esquerdo um alagado que foi totalmente aterrado dando lugar à Avenida Domingos Ferreira, principal via de acesso ao bairro de Boa Viagem, que pode ser visto ao fundo, e no detalhe da imagem de satélite.

**Figura 11** - Adensamento urbano do bairro do Pina, Recife-PE



**Fonte:** Júnior e Silva (2016). Adaptado pela autora (2023).

Segundo Gomes (1997), não foi possível identificar em seus estudos avanços culturais na ideia de natureza, refletida nas primeiras práticas de povoamento do Recife, através da conquista das águas e alagados. Segundo a autora, as medidas urbanizadoras dos espaços da cidade são fundamentais através de discursos ideológicos e culturalmente arraigados. Atualmente, o que enxergamos na paisagem urbana do Recife são territórios ocupados mediante a lógica do capital que segregou as populações a partir das atribuições de valor e precificação. Segundo afirma Anjos (2021), as localidades onde são apresentadas as maiores rendas do município estão

concentradas em duas principais áreas, sendo a primeira no litoral, nos bairros de Boa Viagem e Pina; e a segunda em parte da *zona norte recifense* situada na planície fluviomarina da margem esquerda do Rio Capibaribe.

A ocupação dessas áreas ocorreu de maneira diferenciada, e implica consideravelmente na forma como os processos e fenômenos são vivenciados no território atualmente. A parte mais valorizada economicamente da *zona norte* da planície, teve o início de sua ocupação ligada à aristocracia recifense, continuando assim sendo habitada pelas famílias de maior poder aquisitivo ao longo do tempo. A área litorânea foi ocupada de modo mais intenso ao longo da década de 60, continuando até hoje sua ocupação por famílias de classe alta, onde a especulação imobiliária é intensa e frequente nos últimos anos (Castro, 2013; Anjos, 2021). Outra questão é que, como as áreas de planície foram sendo ocupadas e destinadas à população com maior poder aquisitivo, as populações mais vulneráveis socioeconomicamente foram sendo empurradas para áreas periféricas, que em Recife concentra as áreas de tabuleiros e encostas. Todavia, essa população construiu moradias de maneira irregular, sem acesso a informações adequadas, considerando a suscetibilidade do terreno a fenômenos climáticos.

Considerando as habitações nas grandes metrópoles, a exemplo de Recife, como um fator de agravamento nos impactos das mudanças climáticas, o relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2016) apontava que há uma considerável concentração de residentes em encostas no município, com inclinações superiores a 70 graus. A situação atual já coloca essas comunidades em um estado de vulnerabilidade considerável, e em cenários futuros com o aumento da ocorrência de chuvas extremas, essa vulnerabilidade tende a se agravar (Ribeiro e Santos, 2016).

Segundo Wanderley (2020), há de se considerar uma vasta diversidade nas relações entre a atmosfera e o espaço geográfico, uma vez que os impactos diante das interações entre os elementos climáticos e as paisagens antropizadas afetam as atividades humanas, suas condições de habitação e formas de viver. Nesse contexto, é fundamental avaliar se as modificações no sítio urbano do município do Recife estão em acordo com as condições climáticas atuais e futuras. É necessário considerar as projeções de mudanças climáticas e suas implicações para a precipitação, incluindo a intensidade, frequência e duração de eventos de chuvas extremas, o que suscita na necessidade de investigação e estudos que minimizem os impactos e auxiliem na organização e planejamento dos territórios, a partir da inclusão dos estudos do clima.

São tais transformações que têm aumentado a susceptibilidade aos eventos climáticos extremos e agravando as suas condições de risco (Marengo, 2008).

No que diz respeito à influência e efeito da urbanização sobre as chuvas e os eventos extremos em Recife, deve-se partir do princípio de que a formação das chuvas pode estar relacionada a este fenômeno, no sentido de não somente aumentar o volume precipitado, mas também as intensidades máximas. Huff (1977) observou através de alguns estudos que o efeito acontece nas áreas urbanas através do processo de convecção das células, a partir de um aumento nas células pluviosas, fatos que favoreceriam a fusão destas células, intensificando as precipitações. Xavier *et al.* (1994) analisou uma longa série histórica de precipitações diárias na cidade de São Paulo e demonstrou dificuldade ao relacionar a urbanização às variações do regime pluviométrico, diante da ação de outros efeitos meteorológicos naturais.

Fatores como ilhas de calor urbana, podem alterar o regime pluviométrico local, sendo esse fenômeno objeto de estudo de diversos autores. Zanella (2006) e Monteiro e Mendonça (2003) apontam que a relação urbanização e precipitação constituem um movimento de causa-efeito, em que grandes manchas urbanas podem influenciar no processo de maiores atividades convectivas. Segundo Nóbrega e Farias (2016), os sistemas atmosféricos, como os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), em combinação com as ilhas de calor que forçam a ascensão do ar em processo de convecção, atuando sobre a morfologia urbana potencializam o efeito convectivo podendo produzir precipitações mais volumosas e intensas.

Considerando os possíveis efeitos da urbanização no aumento do volume e intensidade da precipitação, deve-se tomar conhecimento dos efeitos suscitados por essa precipitação no sítio urbano do município do Recife. Vale frisar que, é necessário investigar se há discordâncias entre a paisagem urbana com os fenômenos climáticos que acometem o município anualmente. Os impactos são de grande magnitude, mas ocorrem devido à falta de uma gestão eficiente no planejamento urbano e de infraestrutura. Um dos problemas encontrados em Recife é a sua drenagem, prejudicada devido à canalização de riachos, ocupações irregulares nas margens dos rios, taxa considerável de impermeabilização do solo e destino inadequado dos resíduos sólidos. Além disso, as baixas cotas topográficas do território em relação ao nível do mar dificultam ainda mais a drenagem das águas pluviais do Recife.

Sendo assim, os eventos pluviométricos extremos tomam grandes proporções em termos de impactos, pois possivelmente ocorrem em um sítio urbano com

condições desfavoráveis para o recebimento de totais pluviométricos elevados. É diante desse cenário, que as populações que habitam tanto a planície, quanto as áreas de tabuleiro do município enfrentam problemas graves como os alagamentos, as inundações, enchentes e deslizamentos de terra.

#### 2.3.1.2. Elevação do nível do mar e a influência das marés

Além das complexidades climáticas já abordadas, é fundamental ressaltar a conexão direta entre o aumento do nível do mar e as inundações, um fenômeno que representa uma séria ameaça para as áreas costeiras de Recife. A elevação do nível do mar devido às mudanças climáticas aumenta a vulnerabilidade das zonas costeiras e das áreas próximas a corpos d'água a inundações (Junior e Silva, 2016). Segundo Harari *et al.*, (2008), na Região Metropolitana do Recife, em que há uma população superior a 3 milhões de habitantes, o nível do mar subiu 5,6 mm por ano entre 1946 e 1988, totalizando um aumento de 0,24 m ao longo de 42 anos.

O aumento das marés tem se mostrado um fator crucial na intensificação dos eventos extremos em Recife, um município marcado por uma geografia complexa e vulnerável. Estudos recentes apontam que a elevação do nível do mar, combinada com a intensificação das chuvas, pode agravar significativamente as inundações costeiras, especialmente em áreas urbanizadas que já apresentam problemas de drenagem. A maré alta não só contribui para a inundação das áreas baixas, mas também para o impedimento do escoamento das águas pluviais, criando um efeito de "piscina" em várias regiões do município (Gois, 2017).

Além disso, as mudanças climáticas têm acelerado o processo de elevação do nível do mar, o que aumenta a frequência e a severidade das inundações. Silva *et al.*, (2022) destaca que, em cenários futuros, o impacto das marés altas em combinação com eventos de chuvas intensas pode tornar algumas áreas de Recife permanentemente vulneráveis a inundações. Isso é especialmente preocupante considerando que Recife é uma das cidades mais vulneráveis à elevação do nível do mar no Brasil, devido à sua topografia plana e à proximidade com o oceano.

As marés em Recife são influenciadas por uma combinação de fatores astronômicos e meteorológicos, que podem intensificar os efeitos das mudanças climáticas. Durante eventos de maré alta, a cidade já sofre com inundações frequentes em áreas como a Bacia do Pina e o bairro de Boa Viagem, e com o aumento do nível

do mar, essas áreas tendem a enfrentar riscos ainda maiores (Silva *et al.*, 2022). O impacto das marés é exacerbado pelo fato de que a infraestrutura urbana de Recife foi construída em grande parte sobre terrenos baixos e áreas de manguezal, que são naturalmente suscetíveis a alagamentos.

Soma-se a isso a contribuição das mudanças climáticas para a elevação do nível do mar, que, segundo dados do 4º relatório do IPCC (2007), pode variar entre 0,26 m e 0,77 m até 2100, dependendo do cenário de emissão de gases de efeito estufa (Rosman *et al.*, 2007, Gois, 2017). Essa elevação potencialmente levará a uma maior incidência de eventos extremos, onde as marés desempenham um papel central ao intensificar a força das tempestades e as ondas de tempestade, criando uma combinação perigosa para as áreas costeiras de Recife (Fonseca Neto, 2016).

De acordo com uma pesquisa conduzida por Sousa Neto (2009), o município do Recife enfrentará impactos substanciais devido à elevação do nível médio do mar, que está projetada para atingir 1,60 metros até o ano de 2100. Esses impactos não se restringem apenas à faixa litorânea da cidade, mas também se estendem aos bairros e ao centro urbano. Na área portuária do Bairro do Recife, há indícios claros de avanço do mar, o que também é observado em várias ruas do Bairro de Santo Amaro, como a Rua Batista Regueira. O avanço do mar atinge ainda partes da Rua Dr. José Mariano e da Rua do Sol, localizadas no bairro de Santo Antônio, além de parte da Praça da República no mesmo bairro.

No Bairro da Ilha do Leite, a invasão do mar é evidente em trechos da Rua Padre Venâncio e no viaduto Joaquim Cardoso. A região mais crítica da cidade é o Bairro de Boa Viagem, que abriga o maior manguezal de Recife, diretamente afetado pelo aumento do nível do mar. O mangue está invadindo o pátio do Aeroclub e partes da pista de pouso e decolagem. No Bairro do Pina, as águas da Bacia do Pina avançam cerca de 20 metros sobre a Avenida Engenheiro Antônio Góes e ruas próximas, afetando também o Bairro de Brasília Teimosa. A previsão indica que o mar avançará sobre o calçadão da orla de Boa Viagem, atingindo em vários pontos a Avenida Boa Viagem. Além disso, o canal que acompanha a Avenida Visconde de Jequitinhonha transbordará devido ao provável aumento no nível médio do mar (Sousa Neto, 2009).

Portanto, a interação entre as marés e o aumento do nível do mar devido às mudanças climáticas representa uma ameaça significativa para Recife. A necessidade de estratégias de adaptação que considerem essas dinâmicas complexas é urgente

(Recife, 2020), sendo fundamental uma gestão integrada que contemple tanto a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas quanto a adaptação da infraestrutura urbana. As soluções precisam levar em conta não apenas a elevação do nível do mar, mas também a maneira como as marés contribuem para os impactos dos eventos extremos, como observado nos estudos recentes sobre a cidade (Pereira *et al.*, 2015).

É preciso reforçar, que nos últimos anos, o município vivenciou episódios de maré alta que causaram alagamentos mesmo sem chuva. Essas marés são resultado do aumento global do nível do mar, que se agrava devido ao derretimento das calotas polares, expansão térmica da água e erosão costeira. Além disso, a infraestrutura de drenagem inadequada do município não consegue lidar eficazmente com essas marés altas, contribuindo para os alagamentos persistentes (Junior e Silva, 2016).

#### 2.3.1.1. Rede de drenagem e bacias hidrográficas

Uma vez que a hidrografia e a infraestrutura da drenagem no município do Recife desempenham um papel crítico na resposta aos eventos pluviométricos extremos, cabe aqui trazer as características e a influência das principais bacias hidrográficas que abrangem a área do município.

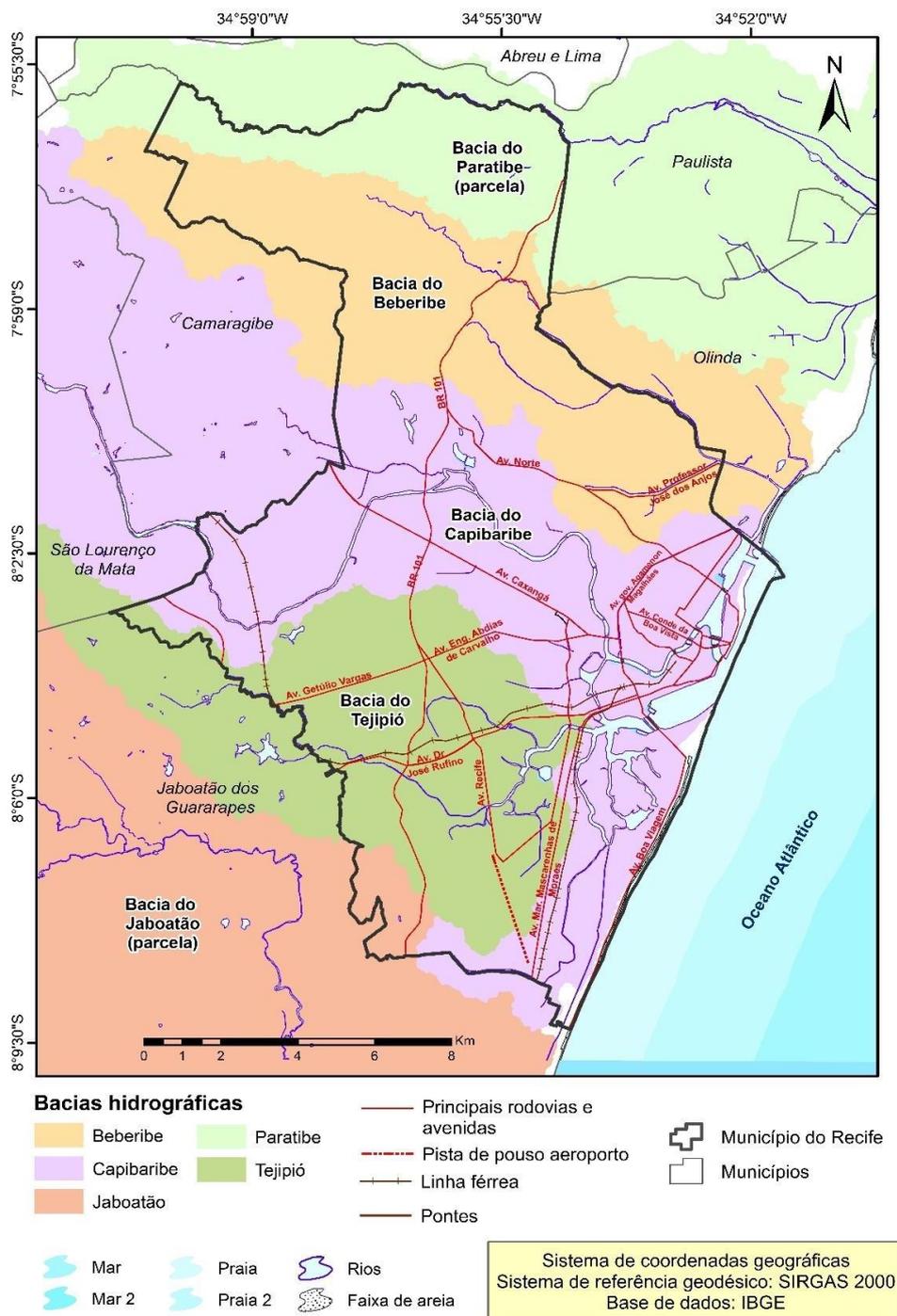
Em Recife, existem três bacias hidrográficas principais, que incluem cursos d'água importantes para a drenagem (Alcoforado et al., 2003). São elas, as bacias do Rio Beberibe, Capibaribe e Tejipió (Figura 12). A topografia da planície do Recife é influenciada pelos rios Capibaribe, Beberibe e Tejipió, que, com seus meandros e a zona estuarina, contribuem para a definição de áreas alagáveis consideráveis (SECTMA, 1997).

Por estarem em áreas predominantemente urbanas, os rios, canais e riachos pertencentes a essas bacias no município do Recife foram sendo modificados, já que diante do crescimento da cidade, locais que eram ocupados naturalmente pelas águas, foram aterrados, impermeabilizados, provocando muitas vezes o aumento do pico das vazões (Goés e Cirilo, 2009).

A Bacia do Rio Beberibe, tem como Rio principal o Beberibe, que nasce no município de Camaragibe (Soares e Galvíncio, 2020). Contando com uma extensão superficial de 81 Km<sup>2</sup>, ela está totalmente inserida na Região Metropolitana do Recife (RMR).

Embora seja uma bacia de pequena extensão, ela é densamente povoada (Campos e Pacheco, 2016). Nessa porção do território, está localizada uma das concentrações mais significativas de comunidades com recursos limitados no município do Recife, demandando iniciativas e ações nos campos do saneamento, planejamento urbano e mitigação de inundações (Campos, 2008).

**Figura 12** - Mapa das bacias hidrográficas e rede de drenagem do município do Recife



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

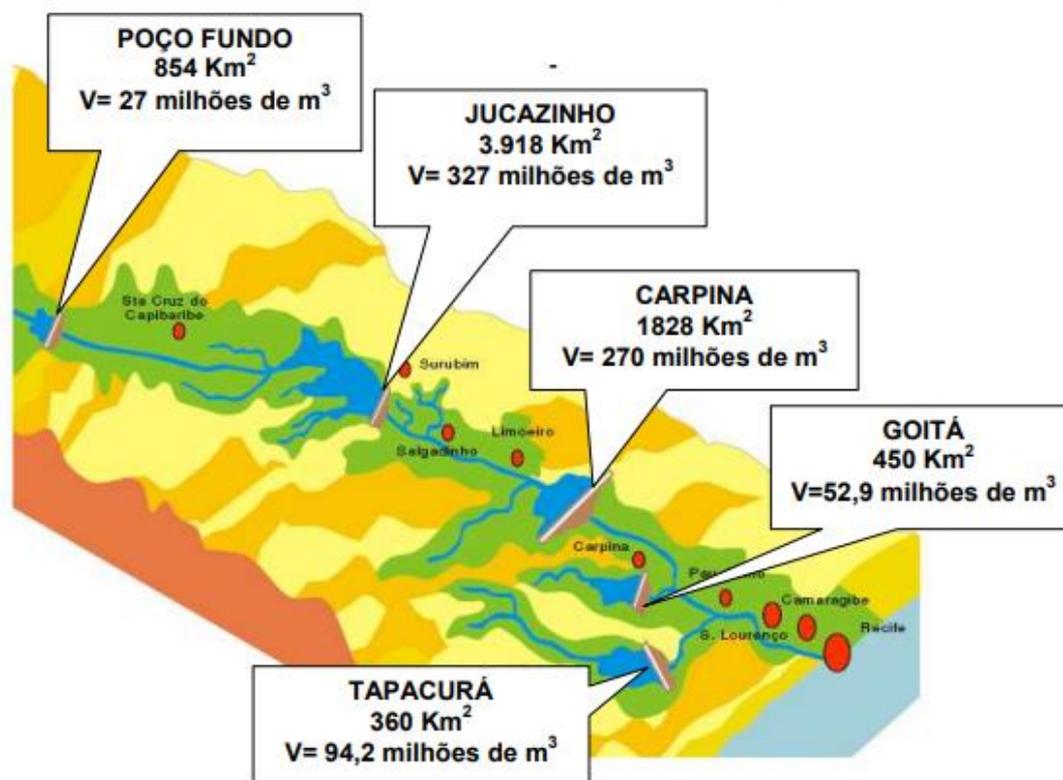
O curso do Rio Capibaribe, principal corpo hídrico que deu nome à Bacia do Capibaribe, tem sua nascente localizada entre os municípios pernambucanos de Jataúba e Poção, percorrendo diversas áreas urbanas ao longo de seu trajeto e desempenhado um papel crucial na drenagem de resíduos industriais e domésticos. De acordo com Souza (2011), essa via fluvial representa um dos recursos hídricos mais significativos do Estado, atendendo às necessidades de abastecimento de água de 43 municípios, sobretudo aqueles que residem nas áreas urbanas da Região Metropolitana de Recife, como o município do Recife, onde se encontra sua foz. A área dessa bacia é de 7.454,88 km<sup>2</sup>, que corresponde a 7,58% da área total do Estado de Pernambuco, e conta com um total de 5 barragens construídas para contenção de inundações e para o abastecimento (Gomes, 2019).

Nas décadas de 70 e 80, o Recife enfrentou grandes problemas decorrentes de grandes enchentes e inundações que acometeram o município. Os impactos estavam associados ao transbordamento dos Rios Beberibe, Tejipió e principalmente, o Capibaribe devido a sua grande extensão. Como alternativa para diminuição dos impactos severos, Souza (2011) relata que a gestão da época buscou construir as barragens ao longo do curso do rio, sendo a primeira a de Tapacurá em 1973, e posteriormente as de Carpina e de Goitá em 1978 (Figura 13). Essas ações foram efetivas durante bom período após a década de 90, evitando assim enchentes como as de 1970 e 1975. Entretanto, em maio de 2022 o Rio Capibaribe transbordou novamente e inundou o município do Recife, deixando inúmeros mortos.

Ressalta-se que, o regime do Rio Capibaribe é intermitente em toda sua extensão de alto e médio curso, até chegar no seu baixo curso (já na mesorregião agreste) onde torna-se perene. Além da importância na contenção das enchentes e inundações, as barragens atualmente são fundamentais para o abastecimento de água na região (Figura 13).

Assim, como a bacia do Beberibe, a bacia do Tejipió está localizada em sua totalidade dentro da Região Metropolitana do Recife. Sendo essencialmente urbana e, apesar de sua extensão superficial relativamente pequena, abrange a maior parte da zona costeira densamente povoada de Boa Viagem e Pina. Sua área total é de apenas 93,2 km<sup>2</sup>, sendo 21,4 km<sup>2</sup> pertencentes a Jaboatão, 4,2 km<sup>2</sup> a São Lourenço da Mata e 67,6 km<sup>2</sup> parte do município do Recife (Moura, 2022).

**Figura 13** - Barragens de contenção e abastecimento de água ao longo do curso do Rio Capibaribe



Fonte: SOUZA (2011).

É importante notar que a bacia do Tejipló abriga outros cursos d'água que deságuam praticamente no mesmo ponto que o Tejipló. Isso inclui os rios Jiquiá e Jordão, bem como o Canal do Setúbal, que percorre a faixa costeira de maneira paralela ao mar. O Tejipló, sendo o principal curso d'água da bacia, possui aproximadamente 20 km de extensão, com a maior parte do seu trajeto perpendicular à praia (Alcoforado *et al.*, 2003).

Tanto o Rio Tejipló quanto o Rio Jiquiá desempenham um papel fundamental na drenagem da maior parte da área urbanizada localizada no setor oeste do município de Recife. Além disso, recebem as contribuições do escoamento gerado na região sul por meio dos rios Jordão e do seu afluente, o Canal Setúbal (Muniz, 2005).

Como é possível observar no mapa da divisão das bacias hidrográficas e da drenagem, tanto os rios principais, como afluentes, correm em paralelo e em proximidades de grandes avenidas, como é o caso da Av. Professor José dos Anjos na *zona norte* do Município e bacia do Rio Beberibe, e da Av. Recife na *zona sul* e bacia do Rio Tejipló. Diante das noções higienistas de implementação de uma drenagem que possibilitasse o afastamento de sua população com as águas, os

bairros do Recife foram sendo construídos sem uma lógica ambientalista, o que culminou nos grandes impactos dos desastres relacionados aos eventos climáticos.

Atualmente, é comum encontrar áreas do Recife onde passam ruas e avenidas, mas que tomaram lugar de corpos hídricos. É facilmente também identificado como grande parte dos terrenos do município foram sendo aterrados e a largura dos rios foi sendo limitada. Na Figura 14 é possível observar as diferenças entre o mapa do bairro do Recife em 1939 (a) e a imagem do google Earth de 2023 (b). Nota-se que a área ao redor do Rio Capibaribe no bairro do Recife era menos urbanizada em comparação com hoje. Essa urbanização foi sendo realizada a partir de canalizações e aterros. O crescimento da cidade, a construção de edifícios, estradas e infraestrutura urbana modificou significativamente a paisagem nas últimas décadas.

É possível perceber no mapa em 1939 a presença de corpos hídricos significativos próximos ao Forte das Cinco Pontas, que hoje abriga o Museu da Cidade do Recife. Na imagem atual (Figura 14 (b)), esses rios e canais não existem mais e deram espaço a ruas, avenidas e construções de casas e edifícios.

Outra questão é que a urbanização e o desenvolvimento frequentemente resultaram na destruição de áreas de mangue ao longo das margens do rio. Isso impactou negativamente a biodiversidade, a qualidade da água e a capacidade de absorção de inundações dessas áreas. Segundo dados do Plano Diretor de Drenagem do Recife (EMLURB, 2016), além desses problemas que já afetam diretamente o sistema de drenagem, outros são: O uso do sistema para escoamento dos dejetos, ocupação das áreas de inundação, obstruções na macrodrenagem devido a presença de esgotos, vários assentamentos localizados ao longo dos rios causando confinamento da calha fluvial e as ocupações dos tabuleiros e encostas aumentando as vazões e a formação de sedimentos. Ainda de acordo com o PDDR de 2016, o município tinha mais de 150 pontos críticos de alagamento, sendo mais de 30 pontos em suas vias principais.

Figura 14 - (a) Mapa do Recife e Cidade Maurícia em 1939; (b) Imagem do Google Earth da mesma localidade



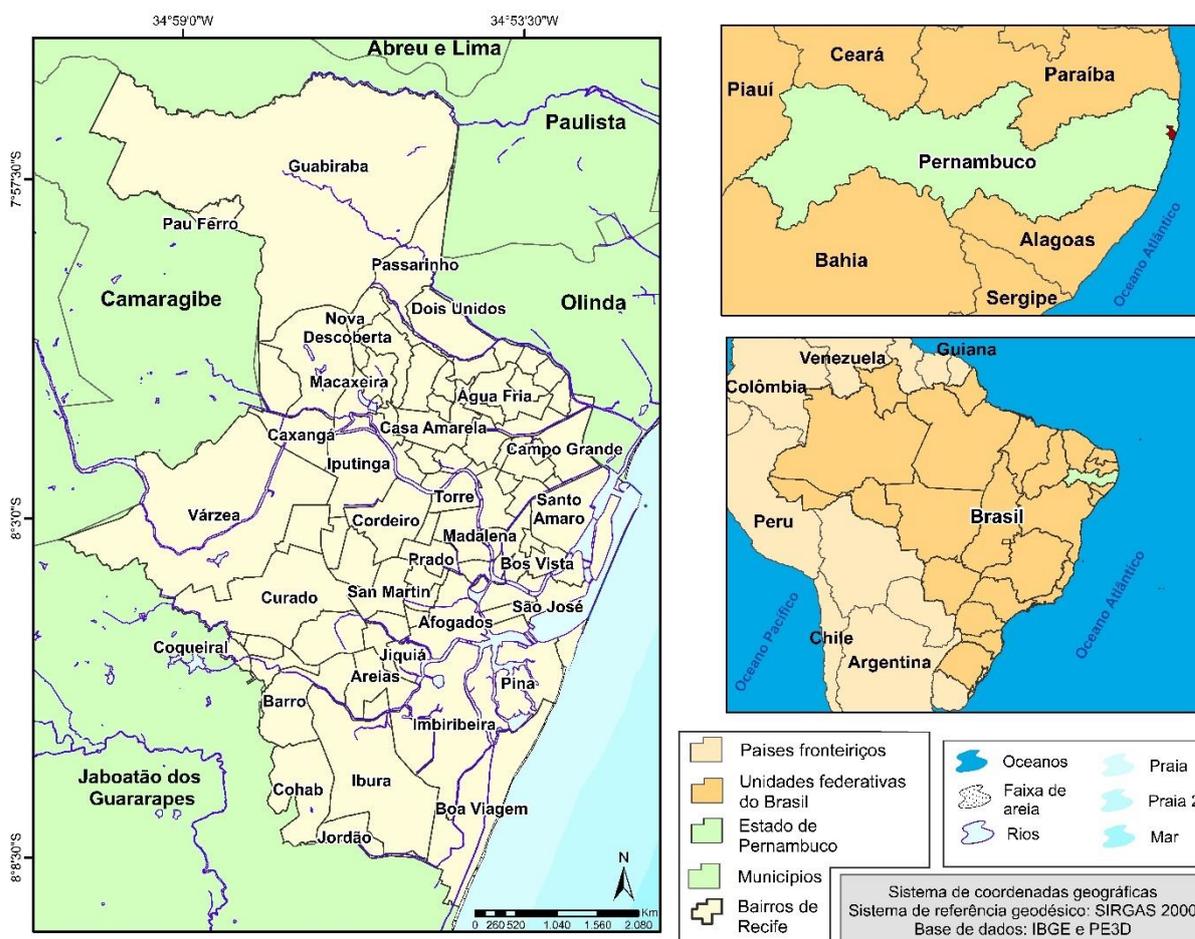
Fonte: (a) Laboratório Topográfico de Pernambuco. (b) Google Earth Pro (2023).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Recife (Figura 15), capital do estado de Pernambuco, está situado no Nordeste brasileiro. Segundo dados do IBGE (2022), a população do último censo de 2022 constatou que a população do Recife é de 1.488.920 mil habitantes. A densidade populacional é de aproximadamente 6.803,60 hab./km<sup>2</sup>, distribuídos em 94 bairros e 1.954 setores censitários. Como é possível notar no mapa da Figura 15, a maioria dos bairros no município do Recife estão próximos a corpos hídricos.

**Figura 15** - Localização do município de Recife e seus corpos hídricos, de acordo com estado e país



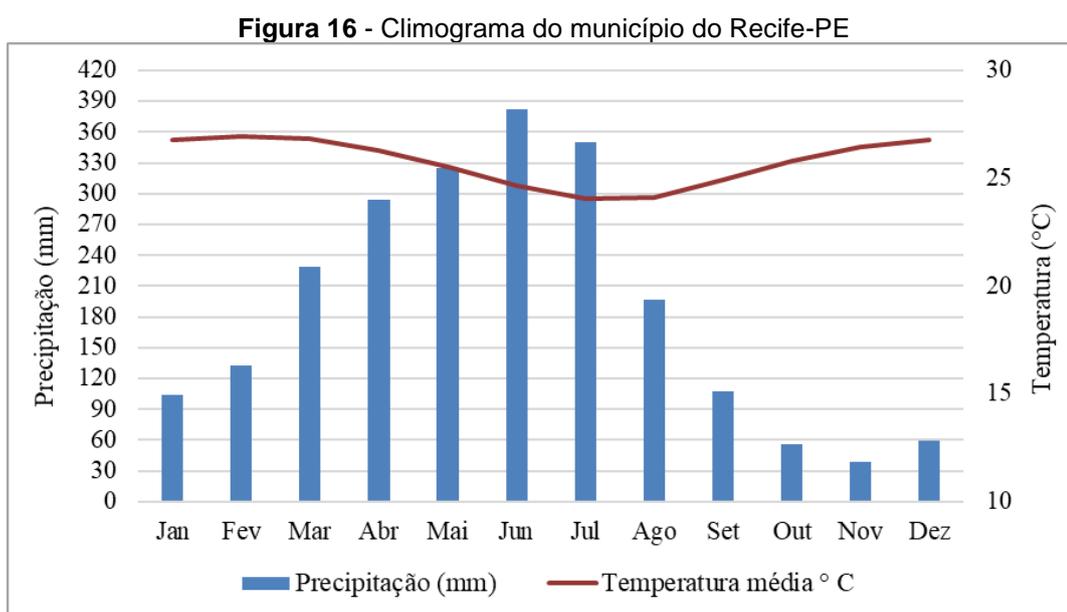
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os rios atravessam todo o município (Silva e Mello, 2017), portanto, a população tem uma convivência inerente com as águas, o que em alguns cenários acaba demonstrando-se como um desafio, principalmente em períodos chuvosos.

Com uma rede hidrográfica extensa, o município além de ser banhado pelo mar, possui os mangues e os riachos, muitos deles hoje aterrados e canalizados.

Com o processo intenso de urbanização nos últimos anos, foram agravados os problemas de ocupação e uso do solo, de modo a dificultar a drenagem nas águas pluviais no sítio urbano. Dessa forma, com a alta taxa de impermeabilização, dificilmente a precipitação consegue exercer o processo de percolação, o que altera o volume e vazões das águas, facilitando alagamentos e inundações (Souza, Corrêa e Silva, 2017). Sendo assim, o município tem uma estrutura urbana e ambiental vulnerável para receber grandes volumes de precipitação.

Com um clima característico bastante úmido (Figura 16), os maiores volumes de chuvas se concentram entre os meses de abril a julho, com precipitações médias mensais que variam de 250 a 380 mm. O período seco é curto, com duração de dois a três meses por ano.



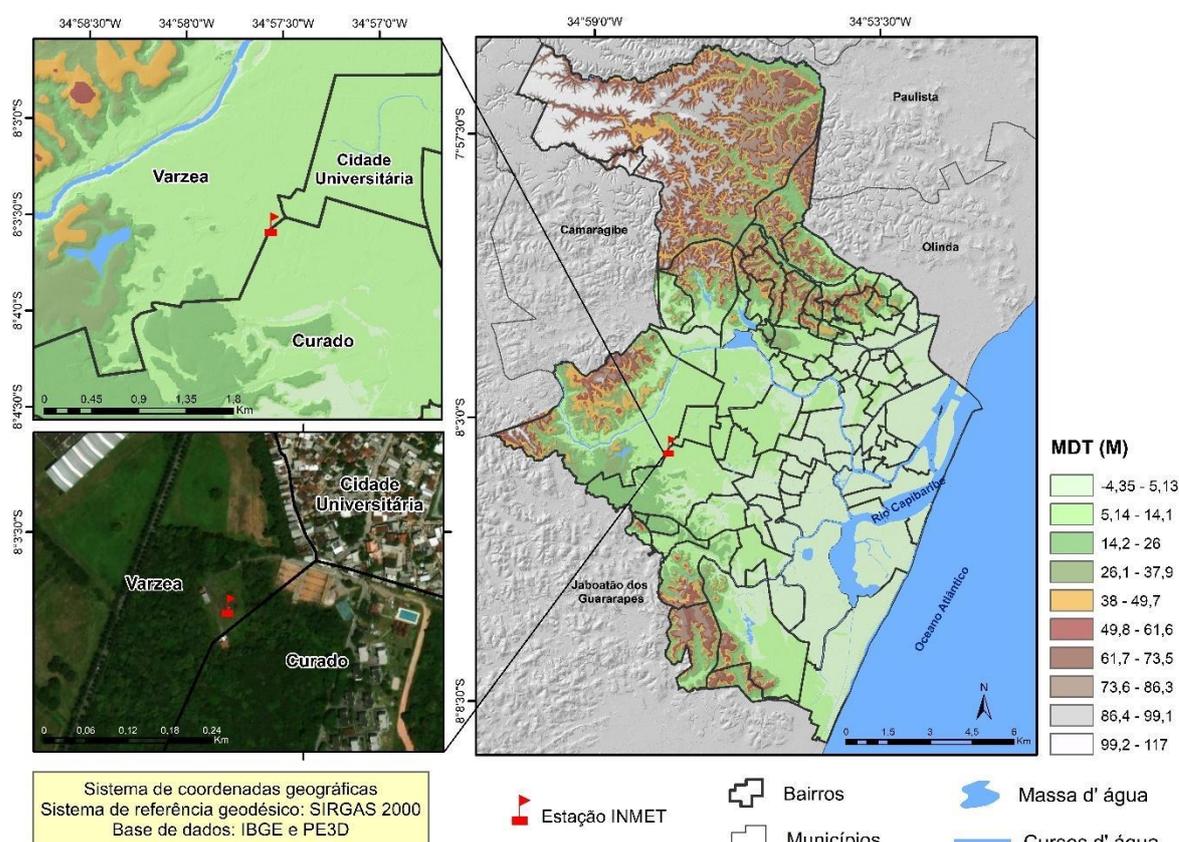
**Fonte:** INMET (2022). Elaborado pela autora (2022).

Algumas características geomorfológicas e dos solos no município do Recife são fatores geográficos favoráveis à ocorrência de impactos socioambientais associados a fenômenos de chuvas extremas. Tendo grande parte de seu terreno assentado em uma planície fluvio-marinha, com características muito complexas em termos dos processos de gênese e morfologia (Souza, Corrêa e Silva, 2017), os problemas relacionados ao transporte de sedimentos, escoamento superficial das

águas e de erosão costeira ficam bastante evidentes, atrelados a dificuldade de criar arcabouços técnicos para uma infraestrutura adequada.

As áreas de encostas de tabuleiros dissecados e interflúvios circundam toda a planície e correspondem às áreas mais elevadas do município (Santana, 2019), possuindo altitudes que podem chegar a até 120m acima do nível do mar (Figura 17), com encostas bastante declivosas, como áreas dos bairros localizados ao norte, sul e sudoeste do município (exemplo da parte a oeste do bairro da Várzea, próximo de onde se localiza a estação meteorológica do INMET, apresentada nas imagens à esquerda da Figura 17).

**Figura 17** - Mapa hipsométrico do município do Recife destacando a localização da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)



**Fonte:** Elaborado pela autora (2023).

O processo de ocupação do município ocorreu a princípio, nas áreas mais planas da cidade próximos aos rios, riachos e córregos. Com a evolução do adensamento urbano, as populações mais vulneráveis foram empurradas, a partir da década de 1940 e ao longo da década de 1950, para as áreas mais elevadas da cidade, menos valorizadas devido aos riscos de deslizamentos de terra (Castro,

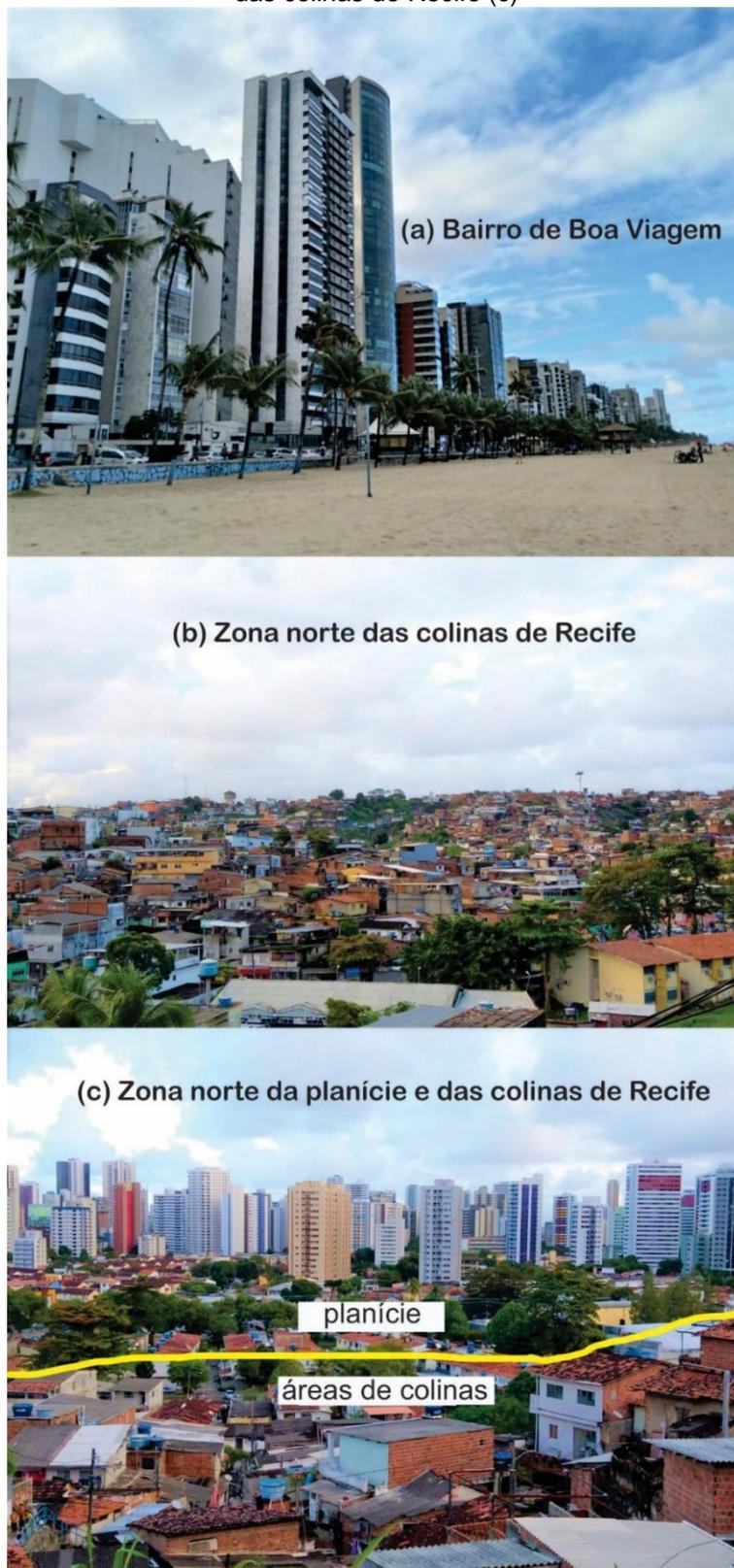
2013). Esse processo valorizou as áreas planas da cidade, e isso reflete até hoje no que se encontra nos tabuleiros em Recife, que são as más condições de habitação e a maior vulnerabilidade aos impactos decorrentes das chuvas (Anjos, 2021).

Portanto, é importante afirmar que as características ambientais podem estar associadas às variáveis socioeconômicas em Recife. Essa associação, que se mostra através da paisagem, sinaliza os diversos contrastes encontrados ao longo de todo o sítio urbano. Ao trazer uma caracterização espacial socioeconômica do Recife, Anjos (2021) destaca a interconexão entre as variáveis, como distribuição de renda, densidade habitacional e infraestrutura, influenciando padrões espaciais em Recife. Ressalta-se a desigualdade na distribuição de renda, evidenciando áreas de alta e baixa renda, na qual as áreas mais valorizadas historicamente concentram-se no litoral e em parte da zona norte (Figura 18 – (a/c)).

Em relação à média de moradores por domicílio, ela está diretamente correlacionada com a distribuição de renda. Essa questão pode ser fator considerável para a vulnerabilidade aos desastres decorrentes de chuvas extremas. Merece destaque o fato de que, ao observar as diferentes paisagens do município, esse aspecto é visível, uma vez que as áreas nobres (exemplo de Boa Viagem) que apresentam alta densidade de edificações e intensa verticalização, tem uma média de baixa a razoável em relação ao total de moradores por domicílios. Além disso, como é possível notar na Figura 18 – (a), o bairro tem uma boa infraestrutura urbana (Anjos, 2021).

O contraste na paisagem é notório, já que as regiões de maior vulnerabilidade social, como as áreas de tabuleiros e das margens dos rios (Figura 18 – (b)), possuem alta densidade de edificações, mas infraestrutura precária, com acesso limitado a serviços básicos, além de uma média alta de densidade de moradores por domicílio. Essas áreas, historicamente negligenciadas pela população abastada, mostram discrepâncias sociais na *paisagem recifense*, evidenciando a complexidade urbana e as desigualdades socioespaciais (Anjos, 2021; Castro, 2013).

**Figura 18** - Bairro de Boa Viagem (a), zona norte das colinas em Recife (b) e zona norte da planície e das colinas de Recife (c)

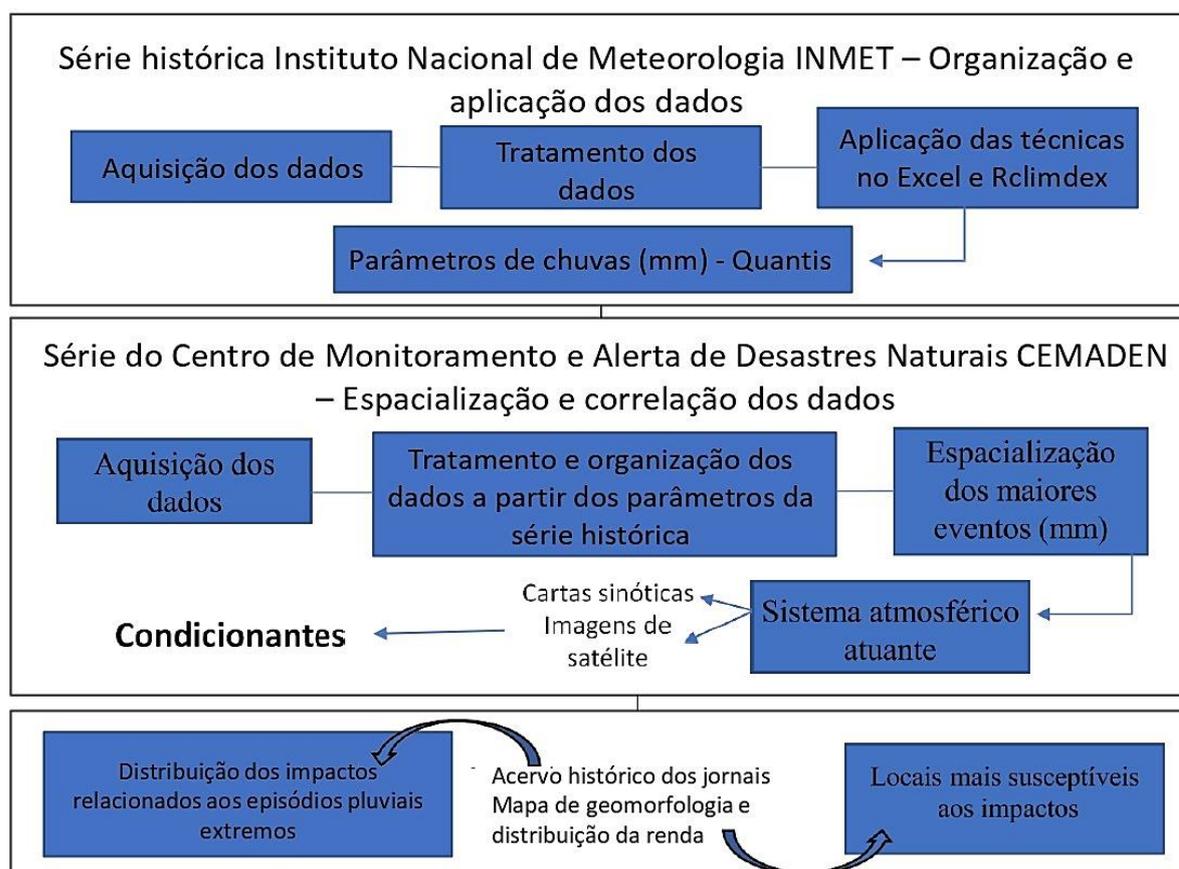


Fonte: Anjos (2021).

### 3.2. METODOLOGIA

A metodologia da presente pesquisa se dividiu em três partes principais conforme mostra o fluxograma na Figura 19. A primeira baseou-se na organização dos dados da série histórica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e as aplicações das técnicas estatísticas; a segunda na espacialização e a correlação dos maiores eventos pluviométricos a partir dos dados da série temporal do Centro de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN), com os possíveis condicionantes oceânico-atmosféricos, naturais e antrópicos que favorecem à ocorrência de tais eventos; e a terceira na regionalização dos impactos em Recife associados aos episódios de chuva a partir dos registros históricos de jornais.

**Figura 19** - Fluxograma da metodologia da dissertação



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

### 3.2.1. Aquisição dos dados

Foram utilizados os dados diários históricos de precipitação coletados da plataforma *web* do Banco de Dados Meteorológicos do Inmet (BDMEP), da estação localizada no bairro do Curado, dos anos de 1962 a 2021, no intuito de investigar o comportamento temporal da precipitação e dos grandes eventos de chuva em Recife.

Os dados de El Niño e La Niña foram obtidos através do site da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) para os anos de 1950 a 2021.

Dados históricos sobre os maiores totais de precipitação registrados pelo INMET foram correlacionados com alguns registros de jornais antigos da Hemeroteca Digital, como o Diário de Pernambuco e o Jornal da Manhã, auxiliando nas investigações das hipóteses de possíveis condicionantes favoráveis à ocorrência de eventos extremos, e puderam dar maior significância aos dados.

Para uma investigação com maior consistência acerca do evento máximo diário registrado, foram coletados e solicitados dados de precipitação para o mesmo dia, dos postos do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) e do Instituto de Controle Aéreo (ICEA).

Os dados diários de precipitação distribuídos para todo o município do Recife foram coletados de 14 postos da plataforma *web* do Centro de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN), dos anos de 2018 a 2021. Ressalta-se que os postos foram selecionados após uma análise de qualidade, identificando em quais os dados estavam mais completos para toda a série temporal. Esses dados contribuíram para uma análise espacial mais detalhada dos eventos extremos no município.

No intuito de compreender os padrões atmosféricos e oceânicos relacionados à ocorrência dos eventos pluviométricos extremos, foram utilizadas as cartas sinóticas dos dias dos eventos da plataforma *web* do Centro de Hidrografia da Marinha, das 00h e 12h, e as imagens do satélite e *Geostationary Operational Environmental Satellites* (GOES) 16 do canal 11 e banda infravermelho de  $8.5\mu$  para os mesmos horários, retiradas da plataforma *web* do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).

Para complementar a análise espacial dos eventos extremos de precipitação e investigar as relações do elemento climático vento na gênese e desenvolvimento desses eventos, foram utilizados os dados horários de direção e velocidade do vento

da estação do Aeroporto Internacional Gilberto Freyre, localizado no bairro da Imbiribeira, concedidos pelo Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA).

Para extrair as informações das feições mapeadas, a representação altimétrica das encostas e das áreas verticalizadas, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) e o Modelo Digital de Superfície (MDS), já que permitiram uma análise mais detalhada das variáveis do relevo. Os dados foram obtidos do programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), notável base de dados espaciais que dá subsídio a análises precisas, principalmente quando se trata de detalhamento do terreno.

Para compreender como o município do Recife e sua população é impactada pelos eventos de chuvas extremas, e como essa relação foi ocorrendo e acometendo o município ao longo do tempo, os registros históricos de jornais antigos encontrados na Biblioteca Nacional Digital Brasil, como o Diário de Pernambuco e o Jornal da Manhã, auxiliaram na investigação dos locais mais susceptíveis aos impactos decorrentes de episódios extremos. Dados acerca do número de óbitos decorrentes de chuvas extremas foram obtidos através da Defesa Civil do município do Recife.

### **3.2.2. Tratamento e análise dos dados históricos de precipitação**

A análise dos eventos pluviométricos em Recife foi realizada em duas partes no presente trabalho, sendo a primeira referente ao estudo da precipitação através das análises estatísticas dos dados históricos de uma estação base (1962-2021), e posteriormente da distribuição dos eventos extremos parametrizados pelos limiares no intervalo temporal dos anos de 2018 a 2021. Todos os dados foram tratados e organizados no software Microsoft Office Excel, e os mapas foram confeccionados através do software ArcGis 10.3.

Os dados pluviométricos da estação do INMET foram analisados em escala anual, mensal e diária. Os dados mais antigos foram do ano de 1962 e os mais recentes do ano de 2021, os quais apresentaram uma porcentagem de 0,761% de falha em relação ao total de dados, não prejudicando a proposta do trabalho.

O *software* Climpack foi utilizado para as análises de tendência da série histórica. É indicado para trabalhar índices climáticos, uma vez que foi viabilizado pelo Painel Aberto de Especialistas da Comissão de Climatologia da OMM (CCI) em Informação Climática para Adaptação e Gestão de Riscos. Eles criaram um conjunto coordenado internacionalmente de índices climáticos centrais que consistem em 27 índices

descritivos para extremos moderados nas escalas temporais anual, mensal e diária (Alexander *et al.* 2006; Zhang *et al.* 2011).

A plataforma do Climact está disponível através do seu site e processa os dados online, sendo possível calcular os índices sem a necessidade de baixar o software R, visto que ele está escrito nessa linguagem de programação. No núcleo do Climact está o pacote do Rclimdex, responsável por calcular os índices climáticos.

Dessa forma, os dados históricos de precipitação foram adaptados para a entrada no software Climact. Através do guia do usuário localizado e disponibilizado na própria plataforma, é possível saber de que maneira os dados precisam estar dispostos para serem reconhecidos. Dados diários faltosos precisam ser substituídos por -9,99. Sendo assim, o Rclimdex consegue mostrar onde e como estão as falhas ao longo da série. Os dados da estação do INMET foram carregados na plataforma, juntamente com as informações de Latitude, Longitude e Ano inicial e final do período base. Em seguida, os dados são verificados, mas ressalta-se a importância de que anteriormente na fase de organização dos dados para entrada, eles sejam verificados quanto à qualidade e homogeneidade.

Posteriormente a essas etapas, os dados serão calculados através dos índices. A maioria dos índices se concentram na contagem de dias que cruzam um limite ou outros limiares referentes ao clima local. Os índices calculam como base dados de precipitação e temperatura, entretanto, para essa pesquisa foram calculados índices (Quadro 2) apenas para a precipitação.

**Quadro 2** - Descrição dos índices para precipitação calculados pelo Climact utilizados nessa pesquisa

<b>Nome curto</b>	<b>Nome longo</b>	<b>Definição</b>	<b>Descrição</b>
<u>CDD</u>	Dias secos consecutivos	Número máximo de dias secos consecutivos (quando PR < 1,0 mm)	Período de seca mais longo
<u>RX dia</u>	Valor de PR de dias consecutivos definido pelo usuário	Total máximo de PR do dia d	Quantidade máxima de chuva que cai em um período especificado pelo usuário
<u>CWD</u>	Dias chuvosos consecutivos	Número anual máximo de dias úmidos consecutivos	O período úmido mais longo
<u>SDII</u>	Intensidade diária de PR	PR total anual dividido pelo número de dias úmidos (quando PR total $\geq$ 1,0 mm)	Intensidade média diária de chuva em dias úmidos

<u>R10mm</u>	Número de dias de chuva muito forte	Número de dias quando PR $\geq$ 10 mm	Dias em que a precipitação é de pelo menos 10 mm
<u>R20mm</u>	Número de dias de chuva muito forte	Número de dias quando PR $\geq$ 20 mm	Dias em que a precipitação é de pelo menos 20 mm
<u>PRCPTOT</u>	PR total anual de dias úmidos	Soma do PR diário $\geq$ 1,0 mm	Precipitação total em dias chuvosos

Fonte: Climpect. Adaptado pela autora (2022).

Os dados de índices e gráficos, são exportados no formato de imagem com os resultados de cada índice. As tendências calculadas pelo Climpect são baseadas na inclinação de Sen - *Sen's Slope* – usando o pacote *zyp*. em R. Como apresenta Sen (1968), a metodologia utilizada para calcular a inclinação (slope) de uma reta de regressão é feita usando o coeficiente de Kendall (tau) como base. A equação é expressa da seguinte forma (SEN, 1968):

$$\text{Sen's Slope} = \text{Mediana}[(y_j - y_i) / (x_j - x_i)] \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde  $(x_i, y_i)$  e  $(x_j, y_j)$  são os pares de pontos da série de dados. A mediana é calculada com base nas inclinações  $[(y_j - y_i) / (x_j - x_i)]$  de todos os pares de pontos. Essa equação representa a diferença nas coordenadas verticais  $(y_i - y_j)$  dividida pela diferença nas coordenadas horizontais  $(x_i - x_j)$  entre todos os pares de pontos na série de dados. A mediana dessas inclinações fornece o valor do Sen's Slope, que é uma estimativa robusta da tendência na série temporal.

Além dos cálculos da inclinação de sen, o pacote *zyp*. utiliza outros pacotes como o *Kendall*, possibilitando os cálculos de teste para significância estatística de Mann Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), expressos através do valor *Tau* no R, e em seguida pelo p-valor, para compreender se existe significância estatística na série de dados (Guia do usuário Climpect, 2022).

O teste de Mann Kendall é não paramétrico e não faz suposições sobre a distribuição dos dados (Birsan *et al.*, 2014). A estatística de teste de Mann-Kendall, chamada de estatística S, é calculada da seguinte maneira:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i), \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que  $S$  é a estatística de teste de Mann-Kendall.  $\Sigma$  denota a soma sobre todos os pares de pontos de dados  $(x_i, x_j)$  onde  $i < j$ . E o  $\text{sign}(x_j - x_i)$  é a função de sinal, que retorna 1 se  $x_j$  for maior que  $x_i$ , -1 se  $x_j$  for menor que  $x_i$  e 0 se  $x_j$  for igual a  $x_i$  (Nashwan e Shahid, 2019).

Seguindo o princípio de que os dados são independentes e distribuídos de forma idêntica (hipótese nula), a estatística  $S$  tem média zero,  $E(S) = 0$ , e variância dada por:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right], \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde  $q$  é o número de grupos vinculados e  $t_p$  é o número de observações no  $p$ -ésimo grupo. A estatística de teste  $Z$ , que tem uma distribuição normal, é calculada com base nos valores  $S$  e  $\text{Var}(S)$ :

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (\text{Eq. 4})$$

Os valores positivos de  $Z$  indicam tendências ascendentes, enquanto os valores negativos de  $Z$  mostram tendências descendentes. Finalmente, para fins de teste, o  $p$ -valor ( $p_v$ ) é calculado como:

$$p_v = 2 \min(\phi(Z), 1 - \phi(Z)), \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde  $\min$  representa o mínimo dos dois argumentos e  $\phi$  é a função de distribuição cumulativa da distribuição normal padrão – a hipótese nula é rejeitada

quando o valor  $p$  da estatística padronizada de teste  $Z$  é menor que o nível de significância escolhido (Barros *et al.*, 2021). Portanto, diz-se que a tendência é decrescente se  $Z$  for negativo e crescente se  $Z$  for positivo, e o  $p_v$  for menor que  $\alpha$ . Neste artigo, foi utilizado o nível de significância  $\alpha = 0,05$ .

Esses índices e seus resultados podem refletir a duração e as tendências referentes aos aspectos do sistema climático, que afetam fortemente a população, como os eventos extremos. O desenvolvimento e a análise desses índices auxiliaram bastante nos Relatórios de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Foi através desses índices que os dados diários da série histórica de 60 anos da estação do INMET foram analisados e discutidos.

Os dados diários de precipitação da série histórica do INMET foram submetidos à Técnica dos Quantis. Segundo Xavier, Xavier e Alves (2007), que foram percussores da técnica no Brasil, desde 1885 já era reconhecida a vantagem de se utilizar os Quantis por alguns teóricos como Galton. Entretanto, foi com Pinkayan (1966) que a Técnica dos Quantis foi amplamente utilizada, para identificar e classificar os anos secos e chuvoso. Posteriormente, os mesmos estudos foram realizados por Xavier e Xavier (1984); Xavier e Xavier (2004) para o Nordeste Setentrional e o estado do Ceará, não somente considerando aspectos teóricos, mas também sua aplicabilidade. Nos últimos anos, a técnica tem sido amplamente utilizada nas áreas da meteorologia e climatologia principalmente para categorizar eventos extremos e definir limiares de chuva.

Dessa maneira, a técnica foi aplicada no intuito de identificar os parâmetros em milímetros de classificação para as chuvas diárias. Como a intenção da pesquisa era de trabalhar com os eventos extremos de precipitação, buscou-se encontrar um parâmetro que categorizasse um evento pluvial extremo de chuva.

Pode-se definir o quantil, segundo Xavier (2007):

$$\text{Prob} ( X \leq Q_p ) = p \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que se considera a probabilidade de  $X$ , uma variável aleatória (precipitação), acumulada em determinado período, que nesse caso seria o acumulado diário; e  $Q_p = Q(p)$  representa o quantil. As ordens quantílicas ( $p$ ) propostas são  $p=0,15$ ;  $0,35$ ;  $0,65$ ;  $0,85$ , ou  $15\%$ ;  $35\%$ ;  $65\%$ ;  $85\%$  correspondentes as categorias: Eventos de chuva

muito fraca, Eventos de chuva fraca, Eventos de chuva normal, Eventos de chuva moderada e Eventos de chuva forte, respectivamente.

Para o presente estudo, que tem como objetivo detectar possíveis ocorrências de extremos de precipitação, e considerando a quantidade de dados da série, além disso as características climáticas do município do Recife com uma grande quantidade de dias com chuvas acima de 1 mm, foi necessário utilizar duas categorias a mais para valores extremos com ordens quantílicas  $p=0,95$  e  $p=0,99$ : Eventos de chuva muito forte e Eventos de chuva extrema (Tabela 2).

**Tabela 2** - Classificação das categorias de precipitação diária

Categoria	Intensidade da precipitação (mm)
Eventos de chuva muito fraca	$P < Q_{0,15}$
Eventos de chuva fraca	$Q_{0,15} \leq P < Q_{0,35}$
Eventos de chuva normal	$Q_{0,35} \leq P < Q_{0,65}$
Eventos de chuva moderada	$Q_{0,65} \leq P < 0,85$
Eventos de chuva forte	$Q_{0,85} \leq P < 0,95$
Eventos de chuva muito forte	$Q_{0,95} \leq P < 0,99$
Eventos de chuva extrema	$P \geq 0,99$

Fonte: Xavier, 2007. Adaptado pela autora (2022).

Os valores de precipitação diária foram organizados em ordem crescente e calculado seus respectivos valores de probabilidade ( $Y_n$ ), conforme a Eq. 2.

A determinação do valor exato de precipitação para cada quantil foi obtido através da Eq. 3.

$$Y_n = n / (n+1) \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que:  $Y$  = probabilidade de ocorrer o evento.

$n$  = ordem do dia na tabela, variando de 1 a  $n+1$ .

$$Q = Y_i + [(P - P_i) / (P_{i+1} - P_i)] * (Y_{i+1} + Y_i) \quad (\text{Eq. 8})$$

Em que:  $Q$  = valor do quantil para cada probabilidade selecionada (mm).

$P$  = valor da precipitação (mm).

Dessa maneira, considerou-se como um evento extremo positivo de precipitação, os acumulados diários parametrizados através da Técnica dos Quantis com ordem quantílica 0,99 ou 99%, categorizados como Eventos de chuva extrema.

Para identificar o tempo de retorno, que é o intervalo de tempo em anos que um evento de precipitação (mm) pode ser igualado ou superado, e a probabilidade de recorrência anual desses eventos de chuva, foi utilizado o Método de Kimball (Villela e Matos, 1977) e foram considerados os totais de precipitação máxima anual registrados, organizados em planilha, em ordem decrescente. Alguns trabalhos tanto na área da engenharia, tanto na geografia, utilizaram o método para investigar probabilidade e tempo de retorno de chuvas e eventos extremos (Soares Neto; Bezerra e Moscon, 2013; Alves *et al.*, 2013; Nogueira *et al.*, 2016; Oliveira, 2017; Silva *et al.*, 2021; Leite, 2022). Para o cálculo de probabilidade utilizou-se a seguinte Eq. 4:

$$\text{Prob} = M / N + 1 \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde M = valor da ordem

N = número de ordem

Para o tempo de retorno, a Eq. utilizada foi:

$$\text{TR} = 1 / \text{Prob} \quad (\text{Eq. 10})$$

Essas equações calcularam a distribuição amostral ou empírica da probabilidade e tempo de retorno dos eventos máximos anuais. Através da distribuição log-normal, foi possível calcular a distribuição teórica.

A partir das análises da série histórica, foi encontrado uma anomalia diária de chuva (24h). Com o intuito de entender a veracidade e as correspondências desse evento com os possíveis impactos causados a população do Recife, foram realizadas buscas em jornais históricos, além do levantamento de outros dados para o mesmo dia em postos do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), obtidos no site da Agência Nacional de Águas, e do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) da estação do Aeroporto, os quais foram solicitados. O posto do DNOCS que era localizado no bairro da Caxangá, atualmente encontra-se desativado, mas coletou dados até meados da década de 70.

### **3.2.3. Espacialização, análise sinótica e da distribuição espacial dos eventos pluviométricos extremos e sua relação com os possíveis condicionantes**

A segunda parte da análise dos eventos pluviométricos extremo ocorreu utilizando a série temporal de dados do Centro de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) dos anos de 2018 a 2021 de uma rede de pluviômetros espalhados por todo o município do Recife.

Inicialmente foram analisados e descritos os dados anuais, mensais, diários e horários a partir de uma perspectiva sazonal diária. Foram realizadas as médias horárias entre 2018 e 2021 para identificação dos períodos do dia em que mais choveram em Recife. A partir de uma análise bibliográfica, foram descritos quais possíveis fatores estariam relacionados a essa concentração média horária da precipitação.

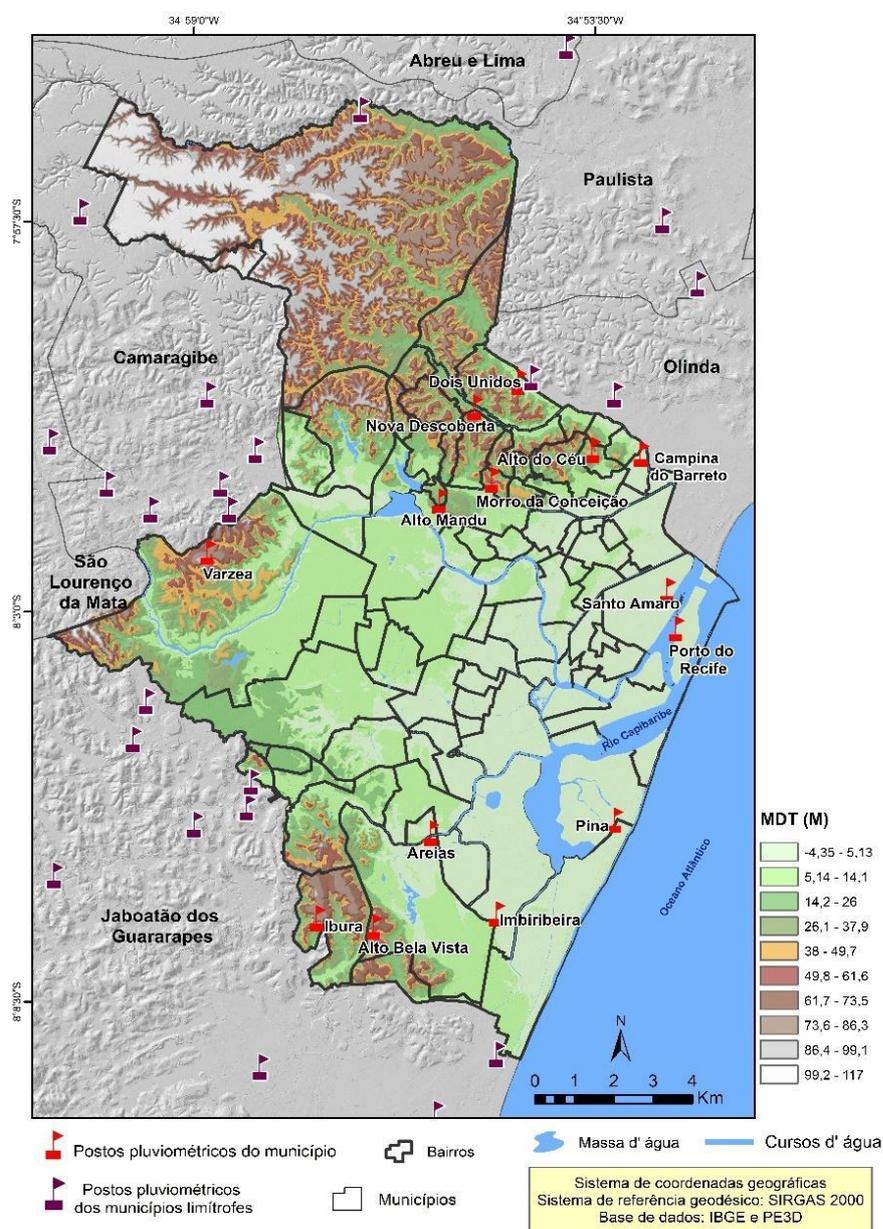
Os dados são baixados em formato horário, e foram tratados e organizados em diários. Apesar dos dados do CEMADEN em Recife terem iniciado registros a partir de 2015, os postos pluviométricos com os dados mais completos e sem falhas tinham registros a partir do ano de 2018. Postos com dados faltosos e que comprometiam a análise, foram desconsiderados, com exceção do posto pluviométrico da Várzea, o qual continha os registros dos eventos analisados, mas não pôde ser utilizado nas análises gerais devido à falta de dados, sendo substituído pelo posto do INMET. Dessa forma, a localização dos postos pluviométricos utilizados nessa pesquisa, associados ao Relevo e corpos hídricos, podem ser observados no mapa da Figura 20. Foram utilizados os dados dos postos dos municípios limítrofes a Recife para a espacialização dos eventos.

Nesses dados, foram selecionados os registros diários categorizados pelo limiar de evento de chuva extrema, encontrado a partir da série histórica do INMET. Posteriormente, foram colocados em ordem decrescente e selecionados os 5 maiores eventos. O ano de 2022, ainda se encontrava curso durante a organização e tratamento dos dados, e, portanto, não integrou as análises, entretanto no mês de maio foi registrado um dos maiores eventos de precipitação já vistos e enfrentados na história da cidade do Recife, o qual essa pesquisa pôde investigar.

Esses eventos foram espacializados através do método do *Inverso da Distância Ponderada* (IDW), uma das técnicas geoestatísticas de interpolação mais utilizadas para pontos espalhados espacialmente. A interpolação através do IDW se utiliza de

uma combinação linear ponderada dos pontos amostrados para determinar os valores de cada ponto (Anjos, 2017), a partir do princípio da dependência espacial. Segundo Anjos, Candeias e Nóbrega (2017) o método IDW é comumente mais assertivo na distribuição da precipitação por mostrar as diferenciações locais sem levar em conta as tendências gerais, uma vez que esse método é usado em análise espacial para estimar valores em locais desconhecidos com base nas medições conhecidas em locais próximos.

**Figura 20** - Localização dos postos pluviométricos do CEMADEN no município do Recife-PE, considerando o relevo e os corpos hídricos



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os mapas interpolados dos dias dos eventos extremos de precipitação diário foram utilizados para identificar os locais mais impactados e que concentraram os maiores totais de chuva. Além disso, foi realizada a caracterização climática e análise sinótica a partir das cartas sinóticas da Marinha do Brasil e das imagens do satélite GOES das 00h e 12h do dia do evento, embasadas através dos boletins do CPTEC/INPE e da Revisão bibliográfica sobre os principais sistemas atmosféricos atuantes em Recife. O intuito da análise foi o de averiguar a existência de possíveis padrões sinóticos responsáveis pela gênese e intensidade dos eventos pluviométricos de grande magnitude em Recife. A revisão bibliográfica auxiliou na identificação e relação dos condicionantes que influenciam na intensificação dos eventos extremos no sítio urbano de Recife e em suas distribuições espaciais.

Através da linguagem de programação em R, os dados de vento foram tratados e organizados. Esse método permite uma série de técnicas estatísticas, de modelação e de tratamento de dados de séries temporais, e entre outras de maneira facilitada a partir de softwares livres, que usam pacotes com a linguagem R (Bittencourt, Barros e Albino, 2019). Em seguida, foram confeccionadas Rosa dos ventos através do software *WRplot view*, mostrando a direção e velocidade do vento para o dia de cada evento.

Para cada evento, foi realizada uma análise sazonal horária (madrugada, manhã, tarde e noite), no intuito de entender a distribuição horária das chuvas e sua relação com a atuação dos sistemas e da intensidade dos impactos. Além disso, através dos jornais locais como o Diário de Pernambuco e Jornal do Comércio, constatou-se se houve impactos associados a tais eventos, e quais foram esses impactos. Para o evento de maio de 2022, foram obtidos dados sobre o número de óbitos decorrentes de chuvas extremas no município e os bairros correspondentes, sendo estes espacializados.

#### **3.2.4. Distribuição dos impactos associados aos eventos pluviométricos e episódios de chuvas em Recife**

O município do Recife sofre os impactos causados pelas chuvas intensas há bastante tempo. Considerando que compreender o contexto histórico referente a esses impactos podem levantar hipóteses acerca do que pode ser feito futuramente para minimizar os problemas da cidade, essa dissertação buscou acessar os acervos

históricos de jornais utilizando palavras-chave de busca, como: “Inundações em Recife” (124 palavras-chave); “Deslizamento de terra” (196 palavras-chave); “Chuvas torrenciais” (579 palavras-chave) e “Alagamentos” (912 palavras-chave). O intuito dessa pesquisa foi de coletar informações sobre os impactos relacionados a episódios extremos, como os locais mais impactados e número de óbitos, feridos e desabrigados. Esses dados foram tabulados, a exemplo do modelo explicitado no Quadro 3 e armazenados em um banco de dados, sendo possível posteriormente serem visualizados em forma de mapas e gráficos.

**Quadro 3** - Modelo de tabulação das notícias veiculadas em jornais

<b>Jornal:</b>	
<b>Data:</b>	
<b>Caderno e página:</b>	
<b>Manchete capa:</b>	
<b>Manchete interna:</b>	
<b>Total pluviométrico diário:</b>	
<b>Precipitação acumulada?</b> Se sim, total de dias: _____	SIM <input type="checkbox"/> NÃO <input type="checkbox"/> Total acumulado: _____
<b>Problema (s) urbanos:</b>	
Queda de árvores   <input type="checkbox"/> Queda de energia   <input type="checkbox"/> Alagamento   <input type="checkbox"/> Inundação   <input type="checkbox"/> Enchente   <input type="checkbox"/> Deslizamento de terra   <input type="checkbox"/> Outro (s):	
<b>Número de óbitos</b>	
<b>Número de feridos e desabrigados</b>	
<b>Locais afetados (bairro, logradouro e outras informações se houver):</b>	
<b>Fonte da informação</b>	
<b>Outras observações:</b>	

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Os dados foram armazenados a partir do google forms e posteriormente apresentados em produtos como mapas e gráficos. Em seguida, essas informações foram relacionadas com um mapa contendo em sua base dados acerca da geomorfologia, precipitação, os corpos hídricos e renda per capita do chefe familiar dos moradores do município. Através desse mapa e das informações dos jornais foi possível discutir sobre os impactos e a vulnerabilidade das áreas atingidas.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

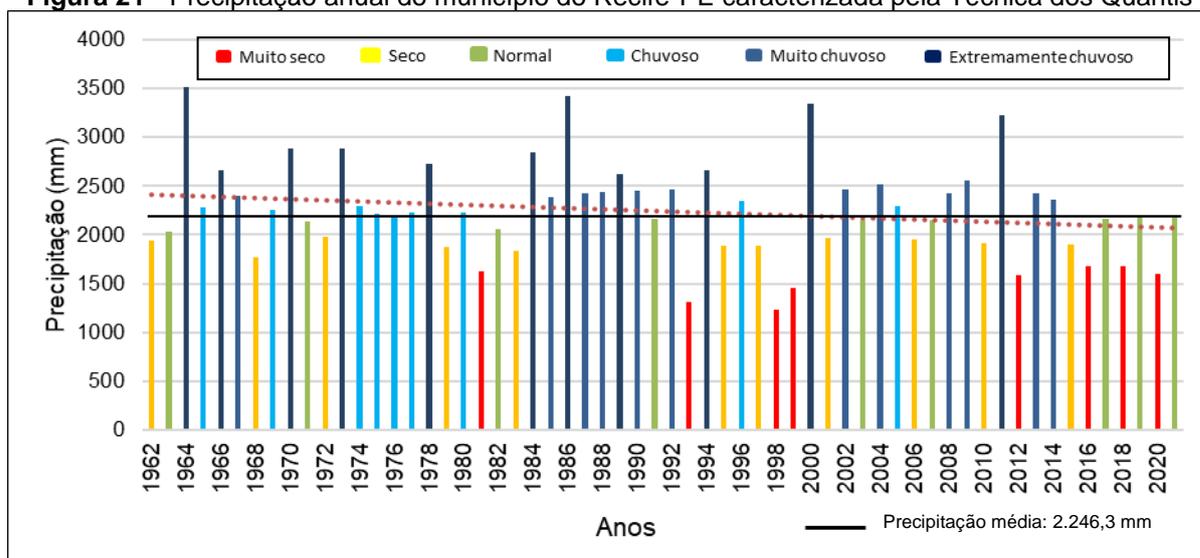
### **4.1. HISTÓRICO DA PRECIPITAÇÃO E DOS EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS EM RECIFE**

A compreensão das chuvas em Recife em suas diferentes escalas temporais é de extrema importância para a tomada de decisões relacionadas à gestão de recursos hídricos, desastres e ao planejamento urbano. Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos na pesquisa que caracterizam a precipitação e os eventos climáticos extremos associados no município, bem como entender as correspondências com fenômenos climáticos de escalas global/regional, no intuito de discutir a respeito da variabilidade das chuvas e suas relações com os padrões climáticos locais.

#### **4.1.1. Precipitação histórica anual, mensal, diária e possíveis tendências**

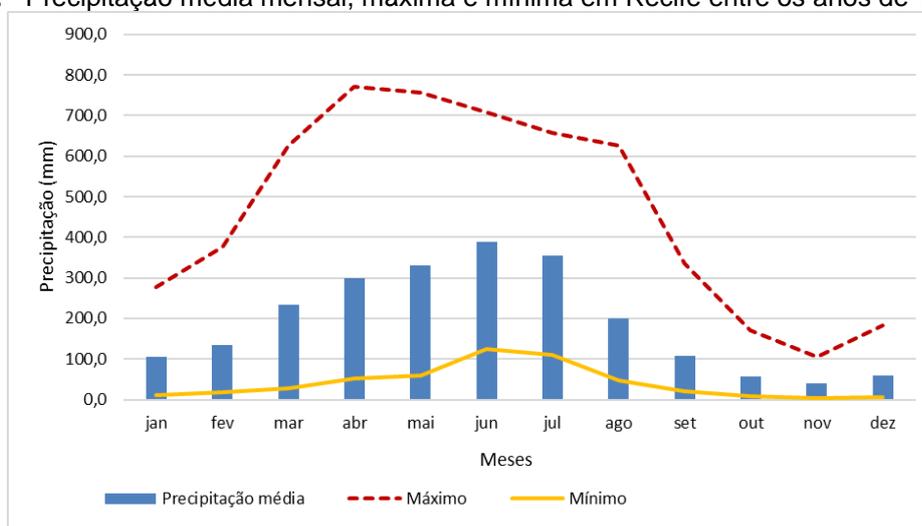
A partir da aplicação da técnica dos quantis para avaliar os anos considerados secos e chuvosos em Recife entre os anos de 1962 e 2021, foram constatados 8 anos dentro da categoria de muito seco, 11 anos secos, 9 anos considerados dentro da média ou anos normais, 9 anos chuvosos, 12 anos muito chuvosos, e 11 anos extremamente chuvosos. Essas informações podem ser observadas no gráfico da Figura 21.

A linha de tendência para as chuvas anuais em Recife aparenta estar em certa diminuição, condicionada, portanto, pela falta da série do ano de 2022, não registrada pelo pluviômetro da estação do INMET. Entretanto, dados de postos pluviométricos do CEMADEN distribuídos pelo município mostram que as chuvas ocorreram acima da média, tendo o posto da Várzea, o mais próximo da estação do INMET, registrado 3.209,22 mm e o posto localizado no bairro do Recife (centro) registrado 2.649,2 mm, mostrando já uma variabilidade espacial das chuvas no município, que será abordada mais adiante, e principalmente, podendo enquadrar 2022 como um ano dentro do parâmetro de extremamente chuvoso. A partir disso, esses dados podem sugerir que os totais anuais das chuvas em Recife não mostram aumento e nem diminuição no regime pluviométrico.

**Figura 21** - Precipitação anual do município do Recife-PE caracterizada pela Técnica dos Quantis

Fonte: INMET. Elaborado pela autora (2021).

Em relação as chuvas mensais em Recife durante o período, as maiores médias se concentram entre os meses de março a agosto, sendo os meses de abril, maio, junho e julho os que apresentaram uma média mensal acima de 200 mm (Figura 22). O mês de junho se destaca com a maior média mensal, 381,80 mm. Cabe salientar, que em anos muito chuvosos ou extremamente chuvosos, com a ocorrência de eventos extremos diários concentrados em curtos períodos, a precipitação pode ultrapassar as médias esperadas, como ocorreu no mês de maio de 2011 que registrou um total mensal acima de 700 mm. Os menores volumes mensais estão entre os meses de setembro a novembro, dezembro e janeiro.

**Figura 22** - Precipitação média mensal, máxima e mínima em Recife entre os anos de 1962 e 2021

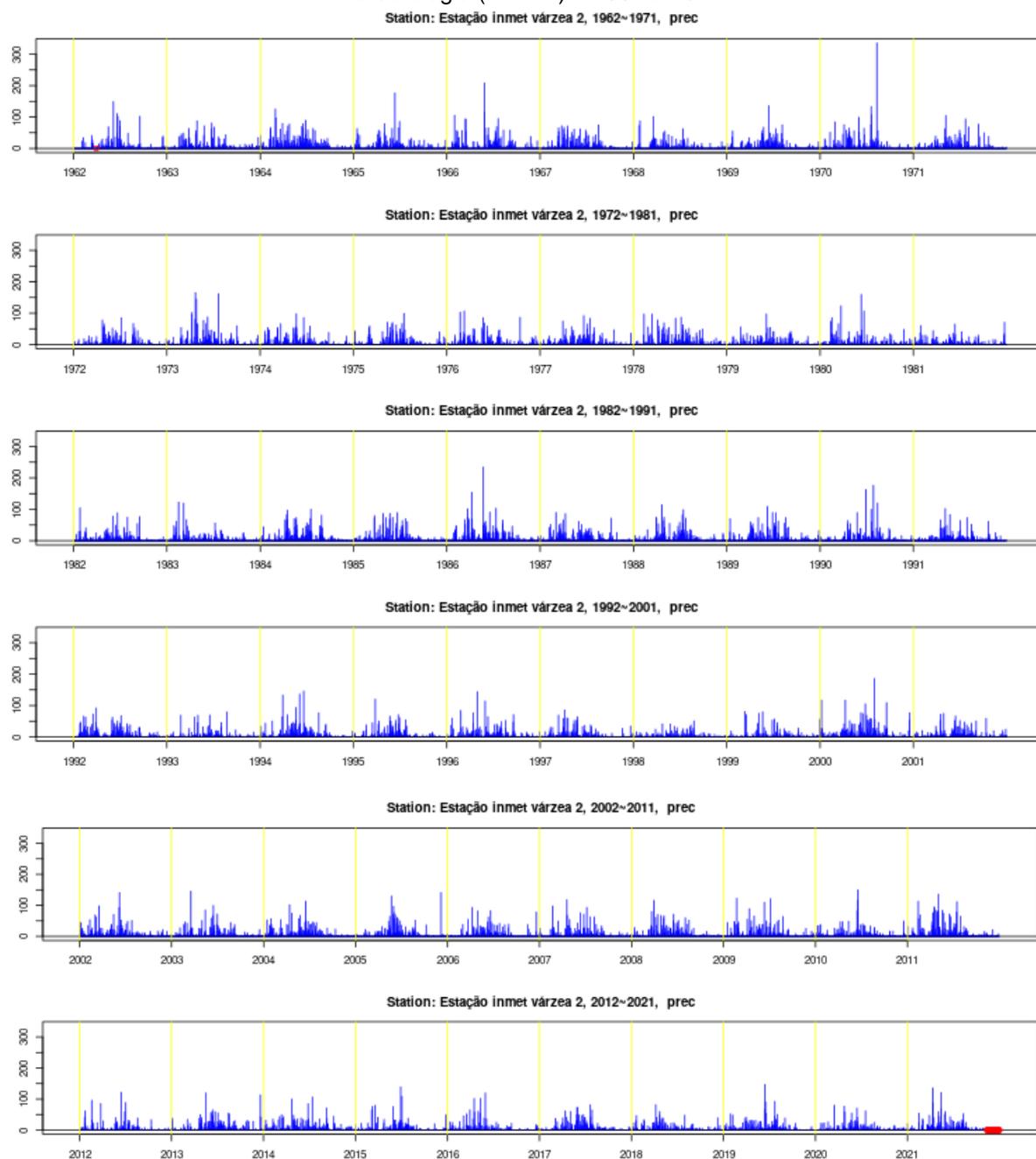
Fonte: INMET. Elaborado pela autora (2022).

A série histórica dos dados diários da estação do INMET foram avaliados através do controle de qualidade do software Climpack, e podem ser observados na Figura 23. O gráfico mostra a distribuição diária dos dados e o registro de poucas falhas (0,761%), encontradas no ano de 1962 e no final do ano de 2021, mas que não comprometeram as análises. A partir desse panorama geral dos dados, já é possível ver alguns picos de máximas diárias que ocorreram nos anos de 1966, 1970 e 1986.

Em relação aos índices calculados pelo pacote do Rclimdex, a Tabela 3 mostra os resultados encontrados para a série temporal do INMET localizada no bairro da Várzea em Recife. São apresentados o slope (indicativo de possível tendência de aumento ou diminuição/ coeficiente de inclinação) e o p-valor (indicativo de significância estatística), e ressalta-se que esses valores foram associados para verificar possíveis mudanças ou não na série de dados.

Os índices climáticos foram: dias secos consecutivos (CDD), dias de chuva consecutivos (CWD), precipitação acima de 10 mm (R10mm), precipitação acima de 20 mm (R20mm), quantidade máxima de precipitação em um dia consecutivo (Rx1dia), quantidade máxima de precipitação em cinco dias consecutivos (Rx5dias), precipitação total anual (PRCPTOT), índice simples de intensidade diária, ou seja, precipitação total anual dividida pelo número de dias com chuva em um ano (SDII), quantidade máxima de precipitação em quatro dias consecutivos (Rx4dias) e dias com precipitação acima de 50 mm (R50mm).

**Figura 23** - Série temporal pluviométrica com dados diários da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) – 1962 a 2021



**Fonte:** Climpect (2022). Organizado pela autora (2022).

Como geralmente são utilizados níveis de significância estatística pré-determinados, foram considerados os valores de p-valor 0,1 a 0,05 (significância baixa), 0,05 a 0,01 (significância média) e <0,01 (significância alta).

**Tabela 3** - Tendências dos índices calculados pelo pacote Rclimdex. Os valores de p-valor em itálico indicam baixa significância estatística (0,1 a 0,5) e em negrito indicam significância estatística média (0,05 a 0,01)

Índice	Nome	Slope	Limite inferior	Limite superior	p - valor
<b>CDD</b>	Dias secos consecutivos	-0,083	-0,167	0,025	0,146*
<b>CWD</b>	Dias de chuva consecutivos	(null)	-0,083	0,044	0,55*
<b>R10MM</b>	Dias com precipitação acima de 10 mm	-0,111	-0,316	0,077	0,239*
<b>R20MM</b>	Dias com precipitação acima de 20 mm	-0,095	-0,235	0	0,108*
<b>RX1DIA</b>	Quantidade máxima de precipitação em um dia consecutivo	-0,104	-0,613	0,475	0,749*
<b>RX5DIAS</b>	Quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos	-0,572	-1,44	0,4	0,281*
<b>PRCPTOT</b>	Precipitação total anual	-5,859	-12,519	1,367	0,123*
<b>SDII</b>	Índice simples de intensidade diária	-0,043	-0,072	-0.009	<b>0,016</b>
<b>RX4DIAS</b>	Quantidade máxima de precipitação em 4 dias consecutivos	-0,564	-1,5	0,144	0,12*
<b>R50MM</b>	Dias com precipitação acima de 50 mm	-0,045	-0,107	0	0,088

\* Indica que não há significância estatística (null) não há tendência

Analisando os 10 índices calculados, apenas o SDII apresentou uma significância estatística média com p-valor de 0,01. A interpretação dos resultados da regressão linear para esse índice indica que há uma relação negativa entre o "SDII" e a precipitação considerada no modelo. O valor do coeficiente de inclinação (slope) de -0,04 indica que, em média, para cada aumento unitário na precipitação, espera-se uma diminuição de 0,04 unidades no Índice Simples de Intensidade Diária. Portanto, esses valores podem afirmar que o coeficiente de inclinação é estatisticamente significativo, indicando que existe uma relação real entre as variáveis.

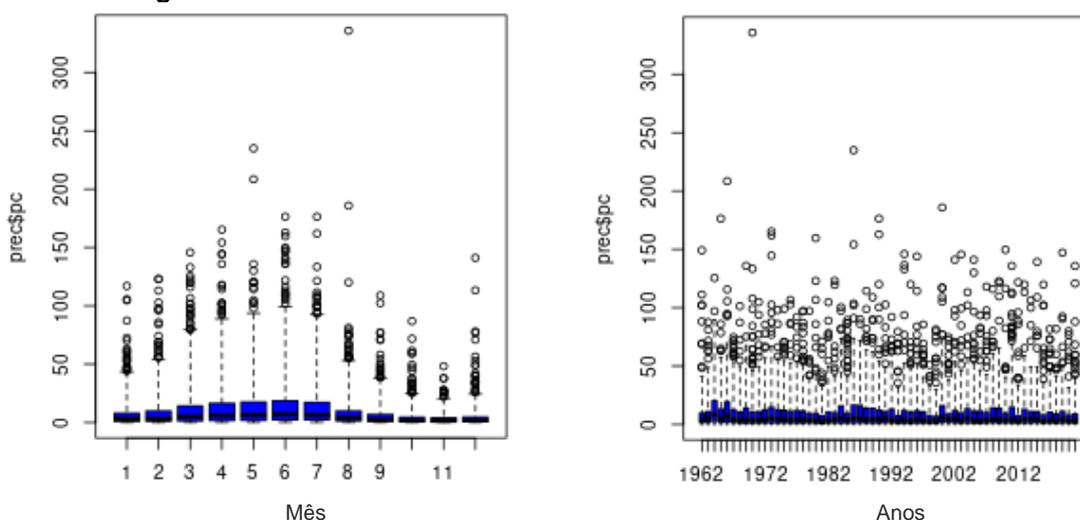
Os resultados indicam que um aumento na precipitação está associado a uma diminuição no Índice Simples de Intensidade Diária, e essa relação é estatisticamente significativa. No entanto, é importante ressaltar que essa interpretação deve ser considerada dentro do contexto específico dos dados e das variáveis envolvidas. Ademais, todos os outros índices, com exceção do R50mm (que apresentou significância estatística baixa  $p \leq 0,10$ ), não apresentaram tendência. Algo comum aos dois índices climáticos foram o slope negativo, indicando tendência de diminuição, o

que corrobora com os resultados encontrados por Nóbrega, Farias e Santos (2014) e com os modelos apresentados pelo IPCC no 6º relatório de avaliação.

Entretanto, esses resultados mostram que não é possível afirmar com veemência que a precipitação está diminuindo ao longo dos anos, bem como os eventos pluviométricos extremos. Esse fato pode estar atrelado a aleatoriedade de dados na série temporal (Figura 24), e podem indicar também que o comportamento da precipitação tem ocorrido dentro da ciclicidade do regime de chuvas que é esperado para o município.

Os *outliers* são apresentados na Figura 24 e mostram valores que se desviam significativamente da maioria dos outros valores em um conjunto de dados. No gráfico da esquerda é possível observar os dados mensais e no da direita os anuais, neles é possível notar que alguns valores podem ser considerados incomuns, pois se destacam dos demais pontos de dados.

**Figura 24** - Outliers mensais e anuais da série histórica do INMET Recife



**Fonte:** Climpect (2022). Organizado pela autora (2022).

Em toda série histórica, foram registrados apenas três dias com chuvas acima de 200 mm. Dessa maneira, esses valores podem estar sendo considerados outliers pelo modelo. Ao observar os valores máximos da série, nota-se uma grande quantidade de dias com registros acima de 100 mm. O maior registro de precipitação diária (24h) foi no dia 11/08/1970 com 335,8 mm, o segundo foi o dia 24/05/1986 com 235 mm, e o terceiro foi o dia 29/05/1966 com 208,5 mm (Tabela 4).

Esses dados deixam em evidência o fato de que, mesmo não havendo uma tendência de aumento dos eventos pluviométricos extremos, há registros antigos e recentes de tais ocorrências no município do Recife. Isso reforça a necessidade dos estudos de atribuição, que calculem a probabilidade de um evento extremo específico ter ocorrido em maior ou menor intensidade, devido à mudança climática.

**Tabela 4** - Precipitações máximas diárias registradas no município do Recife segundo dados da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (1962-2021)

<b>Data</b>	<b>Precipitação (mm)</b>
<b>11/08/1970</b>	335,8
<b>24/05/1986</b>	235
<b>29/05/1966</b>	208,5
<b>01/08/2000</b>	185,9
<b>12/06/1965</b>	176,4
<b>29/07/1990</b>	176,4
<b>22/04/1973</b>	165,3
<b>29/06/1990</b>	162,8
<b>21/07/1973</b>	162
<b>10/06/1980</b>	159,7
<b>08/04/1986</b>	154,2
<b>18/06/2010</b>	149,7

Fonte: INMET. Organizado pela autora (2022).

É importante frisar que os 12 maiores eventos registrados ocorreram entre os meses de abril a agosto, período marcado pela forte atuação dos Distúrbios Ondulatórios de Leste, comumente chamados de Ondas de Leste, o qual acomete frequentemente o município do Recife. Ademais, em uma das reportagens em que há os relatos dos impactos ocorridos devido as chuvas em junho de 1980, um dos mais antigos jornais do Recife, o Diário de Pernambuco, discorre que a causa das fortes e contínuas chuvas que caíam sobre o Recife naquela data, seria um Sistema Ondulatório de Leste (Figura 25).

**Figura 25** - Reportagem de jornal do dia 10 de julho de 1980 informando a causa da gênese do evento pluviométrico que afetava a cidade



**Fonte:** Hemeroteca Digital Brasileira. Jornal Diário de Pernambuco (1980).

#### 4.1.1.1. O registro do episódio de 11 de agosto de 1970, máximo diário registrado pelo Instituto Nacional de Meteorologia

Ao investigar a partir dos jornais históricos do dia 11 de agosto de 1970 e dos dias anteriores e posteriores, o que aconteceu no município em relação aos impactos desse volume de chuva registrado pelo INMET, foi identificado que, segundo as informações do Jornal Diário de Pernambuco (1970) do dia 12 de agosto de 1970, o número oficial de mortos em decorrência das fortes chuvas nos dias 10 e 11 do Rio Beberibe foram de 84 no Recife, Olinda, Paulista, Goiana e Igarassu, sendo a maioria em decorrência do desabamento de casas e barreiras. Na capital, o número exato de mortos foi de 67, sendo 3 desses por afogamento, 1 por descarga elétrica e os outros asfixiados pelo soterramento de barreiras. Em um só desmoronamento, 15 pessoas morreram no bairro de Beberibe. Outros bairros mais atingidos em Recife foram Água Fria e Casa Amarela. Foram quase 5 mil desabrigados, o deslocamento em todas as vias do município foi afetado, com vias obstruídas, árvores derrubadas, além da falta de energia elétrica.

De modo similar, a chuva havia causado grandes transtornos durante o mês de julho do mesmo ano. Inclusive, o jornal cita que as enchentes do Rio Capibaribe em agosto não foram maiores do que a de julho, fato contrário ao que teria sido anunciado à população pelos órgãos públicos, pois apesar da previsão negativa para as chuvas em 11 de agosto de 70 e para enchentes de grande porte, houve a movimentação das

populações das zonas mais baixas do município, mas não houve grandes impactos. Todavia, houve queixas pela ineficiência dos serviços de previsão meteorológica, e da falta de assertividade quando realmente há a possível ocorrência de impactos severos. Isso mostra que as chuvas atingiram em grande parte a cabeceira do Rio Beberibe e se confirma pelo boletim da operação alívio que diz não ter chovido nas cabeceiras do Rio Capibaribe e seus afluentes (Diário de Pernambuco, 1970).

O poder público era desde já alvo de críticas, pois alimentava as promessas de construções das barragens e de que elas resolveriam o problema das enchentes e nada tinha até então sido feito. Outra questão é o fato de que as informações muitas vezes fornecidas pelos órgãos oficiais afetavam o psicológico da população, gerando confusão, insegurança e medo.

Isso traz à tona um fato que muito se discutia entre as décadas de 1960 e 1970 no Recife, que eram as construções das barragens na bacia do rio Capibaribe, de Tapacurá e de Carpina, localizadas a montante da capital, que hoje construídas, auxiliam na contenção das águas das chuvas em grandes volumes, e evitam as grandes magnitudes de inundação do rio Capibaribe registradas até a década de 1970. As enchentes durante esses anos estavam relacionadas aos Rios Capibaribe e Beberibe, atingindo os bairros localizados em suas margens. Nas enchentes de julho de 1970, os bairros localizados nas margens do Capibaribe foram os mais atingidos, diferentemente das enchentes de agosto do mesmo ano.

Em relação aos dados meteorológicos disponibilizados pelo jornal, e para o entendimento da intensidade das chuvas entre os dias 10 e 11 de agosto de 1970 em Recife, a prefeitura tornou público um quadro informando sobre os números registrados pelo Serviço de Meteorologia da Aeronáutica (Quadro 4). Segundo os dados do INMET, as chuvas do dia 10 de agosto de 1970 foram de 6,9 mm em 24h, de 335,8 mm no dia 11, e de 5,3 mm no dia 12. O que não corresponde aos dados informados pelo Serviço de Meteorologia da Aeronáutica, e com as informações dos jornais. Mesmo tendo de levar em conta a variabilidade das chuvas em Recife, e as condições das precipitações antigamente, em que as chuvas nas cabeceiras dos rios acentuavam seu volume e dos afluentes, além de favorecer as enchentes em todo o curso, é preciso considerar a localização geográfica da estação do INMET e sua maior proximidade com o Rio Capibaribe, o qual foi atingido em menores proporções durante a cheia de agosto.

**Quadro 4** - Comparativo da precipitação que atingiu Recife em agosto de 1970

<b>Informação sobre o registro</b>	<b>Data</b>	<b>Total (mm)</b>	<b>Principais impactos</b>
Maior precipitação anteriormente registrada em Recife	10 de agosto de 1964	52 mm	Não foram encontrados registros de impactos em mídias digitais
Registro pluviométrico das chuvas de agosto de 1970	Entre às 18:00h do dia 10/08/1970 e às 14:30h do dia 11/08/1970 (20h e 30 minutos)	151,7 mm	Os bairros mais atingidos foram Córrego do Euclides, Linha do Tiro, Água Fria, Beberibe, Caixa d'água, Casa Amarela e diversos tabuleiros e córregos.
Precipitação aferida nos 4 dias de cheia no mês anterior	18 a 21 de julho de 1970	250 mm	Os locais mais atingidos foram a Várzea, Caxangá, Iputinga, Zumbi, Madalena, Torre, Estrada dos Remédios, Ilha do Retiro, Afogados, Rua Imperial, Apipucos, Dois Irmãos e todas as demais áreas baixas e ribeirinha do Capibaribe. As enchentes atingiram ruas que antes nunca haviam sido inundadas, como a Rua Nova e Rua da Aurora, Impactos esses atribuídos aos aterros.

**Fonte:** Serviço de Meteorologia da Aeronáutica e Jornal Diário de Pernambuco (1970). Organizado pela autora (2023).

A partir desses registros, buscou-se outras fontes de dados históricos de precipitação para a mesma data, no intuito de confirmar tais informações. Os dados de precipitação do Instituto do Controle do Espaço Aéreo (ICEA), e da antiga estação inoperante do Departamento Nacional de Obras Contra Secas que era localizada no bairro da Caxangá registrou um volume de chuvas inferior ao que foi registrado pelo INMET nos dias 10, 11 e 12 de agosto, como é possível observar no Quadro 5. Vale ressaltar que estudos atuais sobre a variabilidade das chuvas em Recife mostraram que no geral, tende a chover mais em bairros como a Várzea e Caxangá, e menos em bairros próximos a parte central do Recife, como o bairro da Imbiribeira, e nas áreas litorâneas (ANJOS *et al.*, 2021)

**Quadro 5** - Comparativo entre os registros históricos dos postos do Aeroporto e do DNOCS entre os dias 10 e 12 de agosto de 1970

<b>Fonte dos dados</b>	<b>10/08/1970</b>	<b>11/08/1970</b>	<b>12/08/1970</b>
ICEA (Aeroporto/Imbiribeira)	80,9 mm	31,8 mm	0,6 mm
DNOCS (Caxangá)	4,6 mm	37,4 mm	19,6 mm

**Fonte:** ICEA e ANA. Organizado pela autora (2023).

A situação das chuvas em agosto foi diferente do que ocorreu entre os dias 18 e 21 de julho de 1970, em que as águas do Rio Capibaribe subiram exponencialmente, como é relatado no jornal do dia 20, e nos dos dias 21 e 22. Segundo informações, o Rio Tapacurá em Vitória de Santo Antão transbordou e continuou subindo, fazendo com que o Rio Capibaribe não suportasse o fluxo. Antes disso, comunidades ribeirinhas do Rio Capibaribe em Recife já eram atingidas. Houve o registro de altos índices pluviométricos em 24 horas em cidades como Bonito (173 mm) e São Joaquim do Monte (154 mm), além disso, o Rio Capibaribe atingiu mais de 3 metros no município de Limoeiro, e mesmo com a diminuição das chuvas ao longo do dia na cabeceira do rio entre os municípios de Poções e Santa Cruz do Capibaribe, a chuva continuou nos municípios de Paudalho, Carpina e Limoeiro, já entre as proximidades com o Rio Beberibe e afluentes.

Nessas enchentes, os bairros mais atingidos foram Caxangá, Várzea, Iputinga, Cordeiro, Madalena, Afogados, Engenho do Meio, Torre e outros próximos às margens do Capibaribe. Mais de 40 mil pessoas ficaram desabrigadas, e 6 pessoas morreram na capital. Outra informação que precisa ser reforçada, é que segundo o jornal, a cidade universitária foi um dos pontos mais atingidos pelas enchentes com as águas alcançando volumes nunca vistos. Esse cenário vão de encontro aos registros acima de 100 mm nos dias 20 e 21 de julho de 1970 da estação do INMET (Várzea), localizada nas proximidades do Rio Capibaribe em Recife. E corrobora para os dados do referente acumulado de 250 mm nos 4 dias de chuva registrados pelo Serviço de Meteorologia da Aeronáutica.

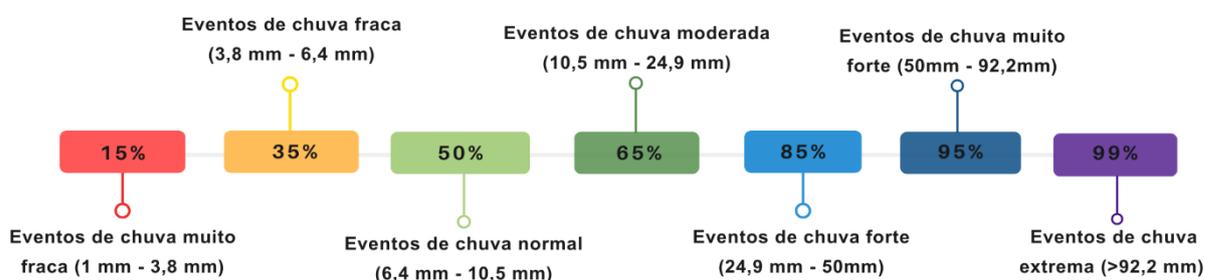
Esses registros dos jornais também reforçam que pode ter ocorrido um erro no registro do dia 11 de agosto de 1970. Devido ao fato de as medições serem convencionais, algumas intercorrências durante eventos climáticos extremos podem impossibilitar os registros nesses dias, o que pode ocasionar em medições atrasadas ou registros de mais de 1 dias serem registrados como sendo de um único dia. Sabe-se que trafegar no município em dias de chuvas é muitas vezes impossível, o que pode ter feito com que não fosse possível chegar até a estação para serem feitas as medições. Entretanto, apesar da não correspondência dos registros dos jornais com o registro do INMET de 11 de agosto de 1970, há uma relação entre os registrados em julho do mesmo ano. Isso reitera a importância de conhecer além dos dados climáticos como números, mas de entender sua dinâmica espacial ao longo da história atrelado aos componentes da paisagem do município, além de demonstrar a

importância dos registros históricos dos jornais e da documentação dos acontecimentos.

#### 4.1.2. Classificação e quantificação dos eventos diários extremos, tempo de retorno e probabilidade de recorrência

Os resultados da aplicação da técnica dos quantis na série histórica foram sintetizados na Figura 26. Com isso, é possível enquadrar os 10 maiores eventos registrados como sendo eventos de chuva extrema (>92,2 mm). Os totais diários entre 10,5 mm e 24,9 mm foram enquadrados como eventos de chuva moderada, e de 50 mm a 92,2 mm, eventos chuva muito forte. Vale ressaltar que os impactos desses eventos diários estão também associados a intensidade da precipitação, ou seja, sua distribuição horária ao longo do dia. Portanto, eventos de chuva moderada podem ser responsáveis por impactos significativos a depender de como acontecem, e o mesmo para os eventos enquadrados dentro dos demais quantis acima de 65%.

**Figura 26** - Limiares de precipitação definidos para série histórica através da Técnica dos Quantis



**Fonte:** Elaborado pela autora (2022).

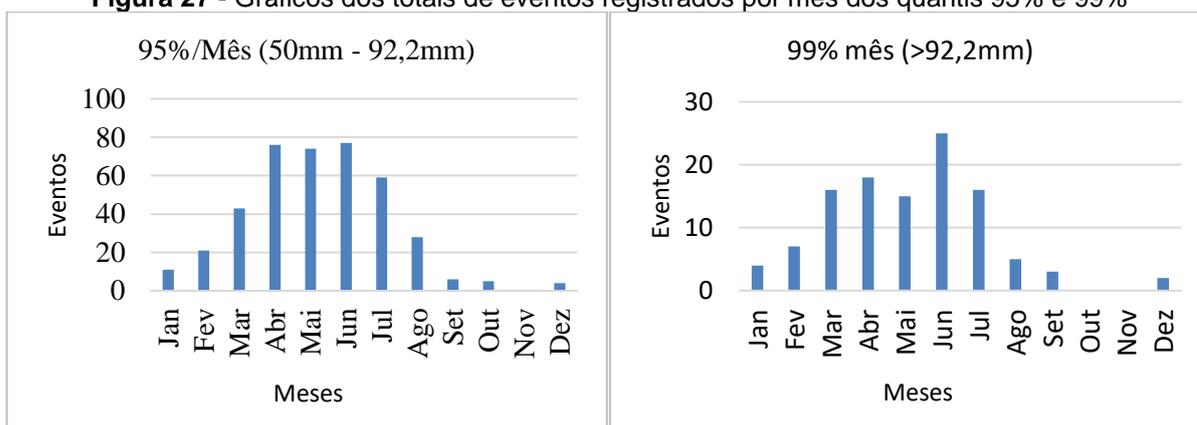
Esses parâmetros corroboram com os achados de Wanderley *et al.*, (2016), que constatou totais acima de 50 mm para o quantil 95%. Como o objetivo dessa pesquisa foi o de levantar um parâmetro para os valores mais extremos da série, considerou-se o quantil 99%. A Tabela 5 mostra a quantidade desses eventos diários entre os quantis 95% e 99%, sendo todos eles um total de 515 eventos. O mês de junho registrou a maior quantidade de eventos do quantil 95% (equivalente a 14,98% do total) e 25 eventos do quantil 99% (4,87%).

**Tabela 5** - Quantidade de eventos e frequência mensal dos quantis 95% e 99%

Mês	95% (50 mm - 92,2 mm)	99% (>92,2 mm)	Total
<i>Janeiro</i>	11	4	15
<i>Fevereiro</i>	21	7	28
<i>Março</i>	43	16	59
<i>Abril</i>	76	18	94
<i>Maio</i>	74	15	89
<i>Junho</i>	77	25	102
<i>Julho</i>	59	16	75
<i>Agosto</i>	28	5	33
<i>Setembro</i>	6	3	9
<i>Outubro</i>	5	0	5
<i>Novembro</i>	0	0	0
<i>Dezembro</i>	4	2	6
<b>Total de eventos</b>			<b>515</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os eventos do quantil 95% ocorrem em maior quantidade nos meses de abril a julho, correspondendo a um total de 286 eventos dos 515 eventos, o equivalente a 55,53%. Os do quantil 99% ocorrem entre os meses de transição para estação chuvosa e quadra chuvosa (março a julho) com 90 eventos, que equivalem a 17,48% do total (Figura 27).

**Figura 27** - Gráficos dos totais de eventos registrados por mês dos quantis 95% e 99%

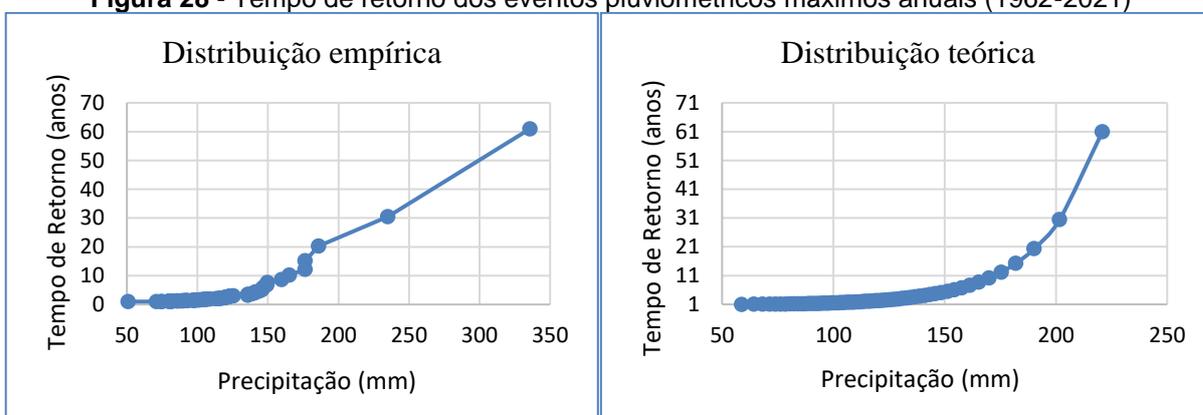
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os eventos entre 50 mm e 92,2 mm ocorrem em todos os meses do ano, com exceção do mês de novembro. Já os eventos diários acima de 92,2 mm não ocorrem nos meses de outubro e novembro, em que se tem a presença da primavera em Recife. Por não ter as estações bem definidas, esse período é considerado quente e

pouco chuvoso, sendo também incomum a atuação de sistemas que potencializem grandes atividades convectivas, diferentemente dos meses em que predomina o verão, de dezembro a março, em que há a atuação de sistemas como o VCAN e a ZCIT.

Para uma melhor gestão dos impactos associados a esses eventos, é de fundamental importância conhecer com que frequência eles ocorrem e qual o tempo de retorno. Os resultados do tempo de retorno calculados pelo método de Kimball e da distribuição log-normal (Figura 28) para os valores máximos diários de precipitação, registrados por ano, mostra que os eventos de chuva de 50 mm tem o tempo de retorno de 1 ano, ou seja, tendem a ocorrer em todos os anos. Já os eventos de 100,6 mm, apresentam um tempo de retorno de 2 anos. Eventos de 123,9 mm de 3 anos, 136,7 mm de 4 anos, e eventos acima de 145,8 mm de 5 anos. O tempo de retorno de 10 anos para eventos de 170 mm, de 20 anos para eventos de 190,2 mm.

**Figura 28** - Tempo de retorno dos eventos pluviométricos máximos anuais (1962-2021)

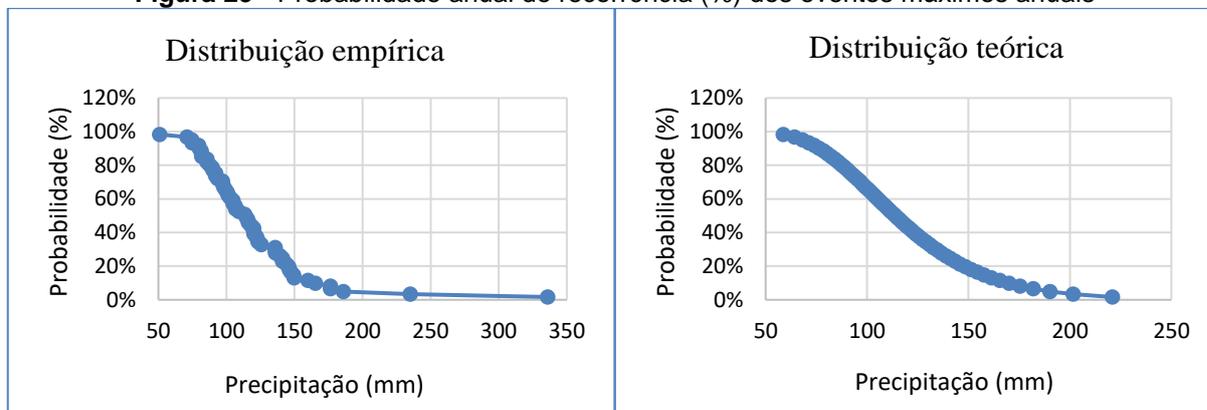


**Fonte:** INMET. Elaborado pela autora (2023).

Embora tenha utilizado métodos diferentes, os resultados encontrados por Wanderley *et al.*, (2016) são bastante próximos. Os autores encontraram um tempo de retorno de dois anos para eventos de 112,7 mm, de cinco anos para eventos de 151,9 mm, de dez anos para eventos 177,9 mm e vinte anos para eventos de 202,8 mm. Os resultados dessa pesquisa mostram uma pequena diminuição no tempo de retorno, se comparados aos totais pluviométricos encontrados pelos autores na série de 1961 a 2016. Entretanto, os dados reforçam que os eventos extremos em Recife tendem a ocorrer todos os anos, uma vez que os gráficos de probabilidade (Figura 29) mostram que os eventos de precipitação de 50 mm têm 98,36% de chances de ocorrer

em um ano, os de 100,6 mm tem 65,57%, um de 130,8 mm tem 32,79% de chances e um de 151,3 mm tem 18,03%.

**Figura 29** - Probabilidade anual de recorrência (%) dos eventos máximos anuais



**Fonte:** INMET. Elaborado pela autora (2023).

No que diz respeito aos impactos de totais pluviométricos diários como esses registrados, há ainda um agravante maior quando a chuva ocorre em dias consecutivos com grande intensidade. Ou seja, com a possibilidade de que as chuvas podem ter iniciado antes, no dia anterior ou dias anteriores ao da máxima, ou até mesmo continuado nos dias seguintes, os impactos são mais severos e deixam grandes estragos em todo sítio urbano do município, tanto na planície quanto nas áreas de tabuleiro.

## 4.2. DA GÊNESE DOS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM RECIFE: CARACTERIZAÇÃO, PADRÕES E CONDICIONANTES

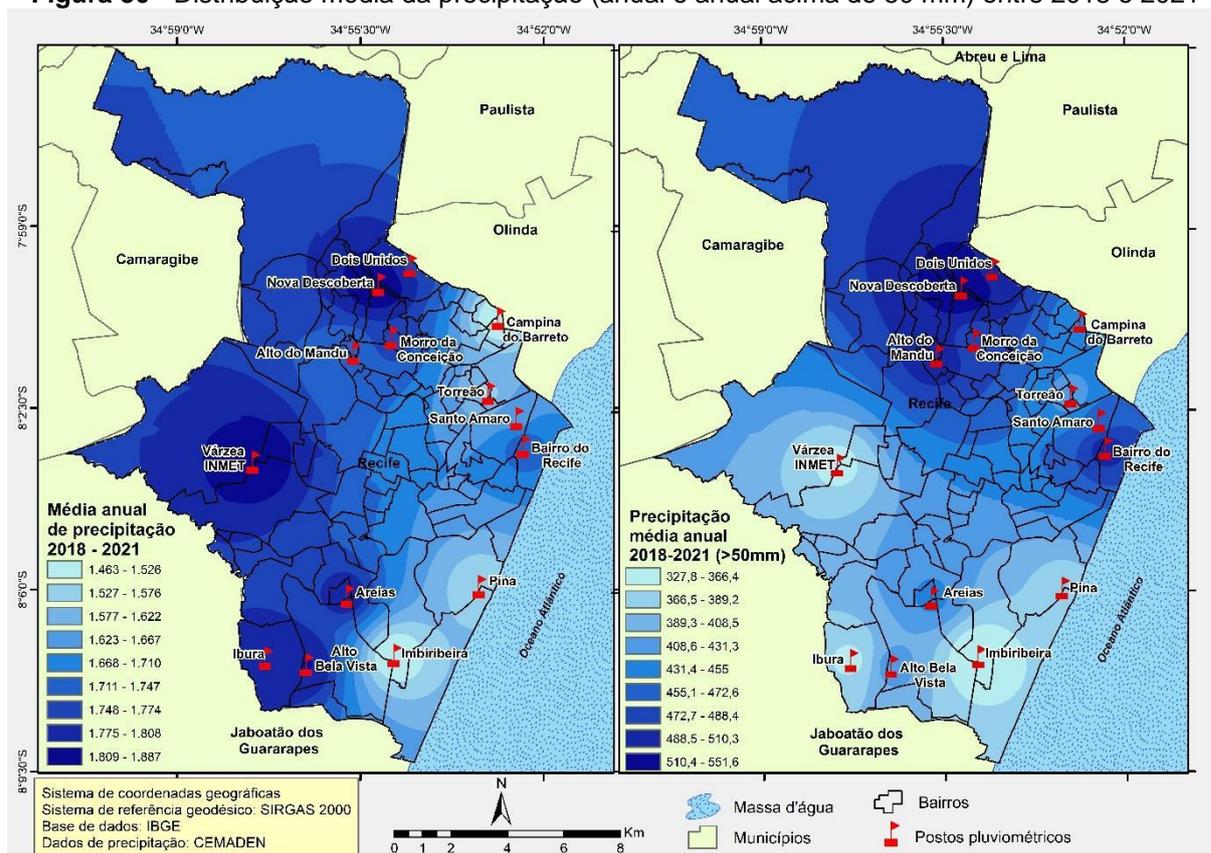
### 4.2.1. Distribuição anual e mensal da precipitação entre 2018 e 2021

Os eventos pluviométricos extremos que acometem o município do Recife apresentam especificidades e dinamicidades que ainda demandam uma investigação aprofundada, desde os seus condicionantes atmosféricos, até os fatores geográficos que influenciam na sua distribuição espacial. Essas análises necessitam de uma perspectiva multiescalar, uma vez que essas variáveis ou condicionantes ocorrem desde em uma escala global/regional, até mesoescalas e microescalas, e se conectam.

As médias anuais da precipitação foram espacializadas para os postos distribuídos no município do Recife. É possível notar variações espaciais entre 100 mm e 300 mm na média anual das chuvas entre 2018 e 2021, sendo os postos da Várzea (INMET) um dos que apresenta os maiores totais de chuva nesse período. Entre os postos do CEMADEN, o de Nova Descoberta se destaca, seguido dos postos do Ibura, Alto da Bela Vista, Areias, Dois Unidos, Morro da Conceição e Bairro do Recife (Figura 30).

Já no mapa à direita da Figura 30, foram considerados apenas os eventos (diários) igual ou acima do quantil 95% (>50 mm). Na média espacial, os locais com maiores volumes de chuva estão localizados na zona norte do município do Recife, e em parte da zona leste.

**Figura 30** - Distribuição média da precipitação (anual e anual acima de 50 mm) entre 2018 e 2021



Os postos de Nova Descoberta, Dois Unidos, Alto do Mandu e do Bairro do Recife, foram os que registraram os maiores volumes de média anual das chuvas acima de 50 mm. Isso é um sinal de alerta de que essas áreas merecem ainda maior

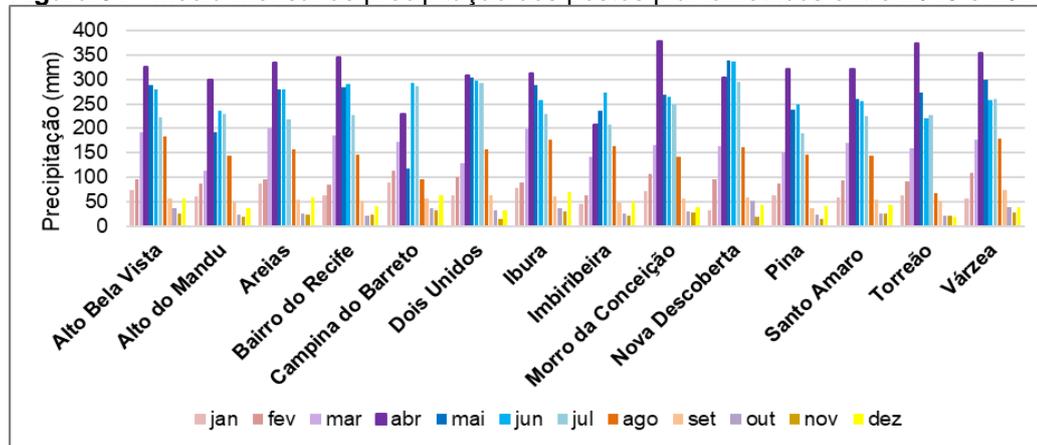
atenção no que diz respeito aos possíveis impactos de eventos extremos de precipitação.

Essa variabilidade das chuvas no município do Recife estão associadas às características físicas e ambientais do município, como evidenciaram Anjos *et al.*, (2020). Os autores identificaram que condicionantes como o relevo, direção predominante dos ventos, orientação das encostas, e os tipos de chuvas são responsáveis por influenciar na distribuição espacial da precipitação. Bem como foram identificados nesse estudo, um aumento de precipitação no sentido SE-NO entre os anos de 2018 e 2021, Anjos *et al.*, (2020) encontraram padrões semelhantes dentre os anos de 2015 a 2018.

Em relação a concentração da precipitação acima de 50 mm nas áreas mais próximas às encostas e áreas de maior altitude, alguns autores como Correa e Galvani (2016) citam que a precipitação tende a aumentar à medida que a altitude também aumenta. Em Recife, essas características podem estar associadas ao tipo de chuva, uma vez que os sistemas atuantes podem ocasionar diferentes tipos de chuva, como os DOLs com um maior percentual de chuvas convectivas, e as brisas marítimas, com possibilidade de chuvas mais estratiformes. Entretanto, segundo Anjos (2016), os tipos de chuvas podem ocorrer simultaneamente, o que pode aumentar as possibilidades de chuvas mais intensas e mais distribuídas ao longo do município.

Os meses mais chuvosos entre 2018 e 2021 foram abril, maio, junho e julho, com destaque para o mês de abril em quase todos os postos, com exceção de Campina do Barreto, Imbiribeira e Nova Descoberta em que as médias foram maiores nos meses de maio a julho (Figura 31).

**Figura 31** - Média mensal de precipitação dos postos pluviométricos entre 2018 e 2021



Fonte: CEMADEN (2021). Elaborado pela autora (2023).

Os postos com as maiores médias mensais foram Morro da Conceição, Torreão e Várzea, todas no mês de abril. Os meses com as menores médias mensais foram outubro e novembro, com destaque para as médias de novembro dos postos do Pina e Dois Unidos. No que diz respeito aos totais mensais, alguns meses se destacaram por apresentarem precipitação bem acima da média para o mês, como por exemplo o mês de junho de 2020 que registrou 1055,3 mm no posto do Alto do Mandu e 659,54 mm no posto de Nova Descoberta, sendo a climatologia média de junho 388,3 mm (Tabela 6).

**Tabela 6** - Maiores totais mensais entre 2018 e 2021 em comparativo com a climatologia média mensal

Ano	Posto	Mês	Precipitação (mm)	Climatologia (mm)
2020	Alto do Mandu	junho	1055,3	388,3
2018	Nova Descoberta	Abril	661,48	299,6
2020	Nova Descoberta	junho	659,54	388,3
2018	Alto Mandu	Abril	637,62	299,6
2018	Dois Unidos	Maio	627,99	330,4
2018	Torreão	Junho	610,55	388,3

Fonte: CEMADEN e INMET (2021). Elaborado pela autora (2023).

Outros meses de destaque com precipitações mensais acima da média esperada em todos os postos durante o período, foram abril de 2018, junho e julho de 2019 e junho de 2020. O mês de julho de 2020 apresentou um total mensal acima da média apenas no posto de Nova Descoberta, com 454,41 mm, evidenciando, mais uma vez, a variação das chuvas em Recife em suas diferentes escalas temporais.

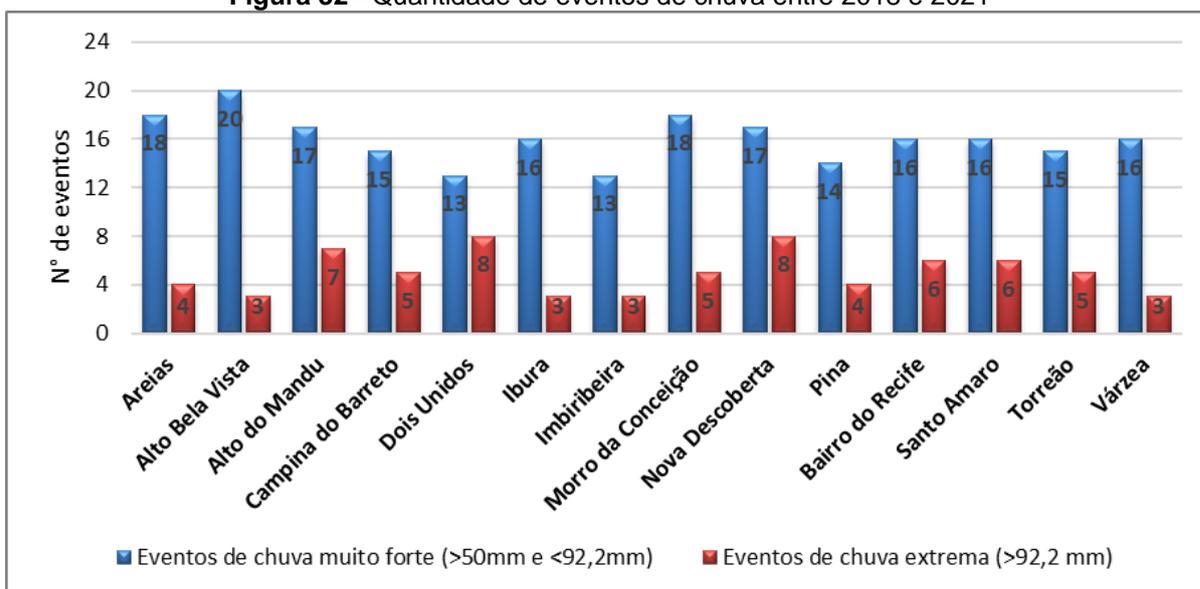
#### **4.2.2. Quantificação por posto pluviométrico dos eventos extremos de precipitação diária a partir dos limiares definidos e caracterização sazonal horária associada aos tipos de chuva em Recife**

A partir da definição dos limiares de chuva, foi possível identificar a quantidade de eventos de chuva muito forte e de chuva extrema diária distribuídos por postos pluviométricos dentre os anos de 2018 e 2021. O posto com maior quantidade de eventos diários de chuva muito forte, entre 50 mm e 92,2 mm, foi o do Alto da Bela Vista, contabilizando um total de 20 eventos, enquanto os postos com maior

quantidade de eventos de chuva extrema (>92,2 mm) foram os de Dois Unidos e Nova Descoberta, ambos com um total de 8 eventos (Figura 32).

Merece atenção o fato dessas localidades terem uma grande quantidade de áreas de risco devido a estarem nas áreas mais elevadas, com declividades acentuadas e com proximidade aos sopés das encostas. Além disso, são bairros em que grande parte da população vive em condições socioeconomicamente vulnerável e com pouca infraestrutura urbana. Ademais, todos os postos pluviométricos registraram eventos de chuva extrema (acima de 92,2 mm) durante o período, o que evidencia a recorrência de tais fenômenos e a necessidade de repensar a cidade, principalmente nos elementos que podem estar em inconformidade com os impactos associados a eventos climáticos desse porte.

**Figura 32** - Quantidade de eventos de chuva entre 2018 e 2021

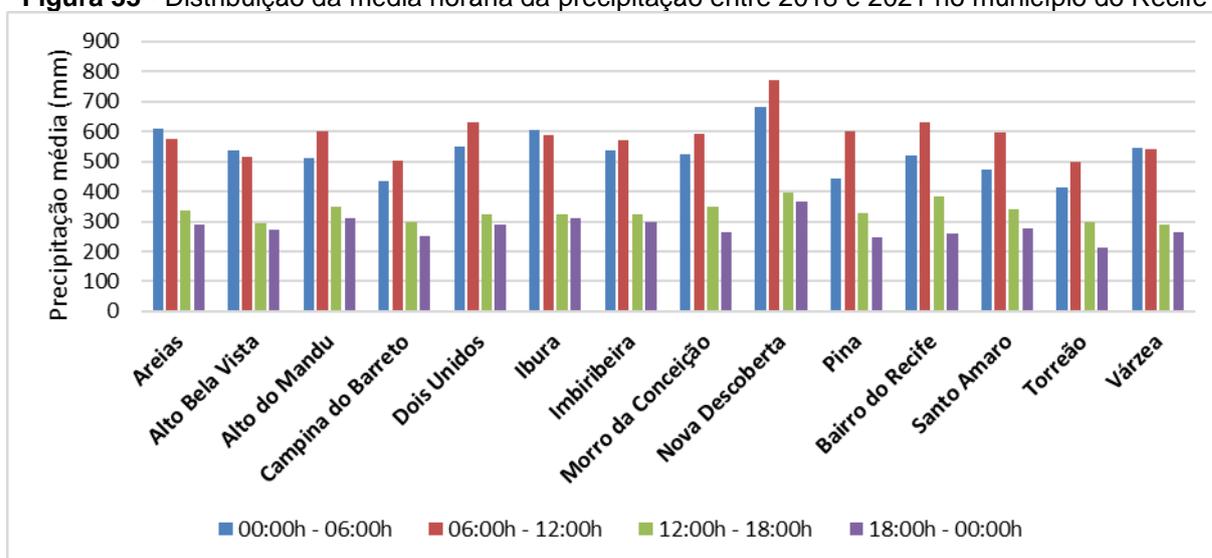


**Fonte:** CEMADEN (2022). Organizado pela autora (2023).

A diferenciação na distribuição espacial das chuvas e na quantidade de eventos por postos pluviométricos estão associados também ao sistema atmosféricos atuante e sua combinação aos fatores geográficos e climáticos locais. Os estudos a respeito dos tipos de chuva em Recife podem explicar por que durante o período da madrugada, entre às 00:00h e 06:00h, e da manhã, entre às 06:00h e 12:00h, têm-se a maior quantidade de precipitação média horária no município. Ao observar o gráfico da Figura 33 é possível notar que há um aumento da precipitação nos dois primeiros períodos do dia, e uma diminuição nos dois períodos seguintes entre 12:00h e 18:00h; e 18:00h e 00:00h em basicamente todos os postos pluviométricos.

Essa condição está associada a quantidade de chuvas estratiformes que caem no litoral, ligadas a atuação da brisa marítima, e explicam um maior delineamento das chuvas nas áreas mais próximas às encostas e de maiores altitudes observadas anteriormente, já que as chuvas estratiformes têm um maior desenvolvimento horizontal. Outra questão é que pela brisa marítima ter atuação durante todo o ano em Recife, é possivelmente um fator para a concentração média horária das chuvas, e pode explicar por que o município tem uma maior ocorrência percentual de chuvas estratiformes.

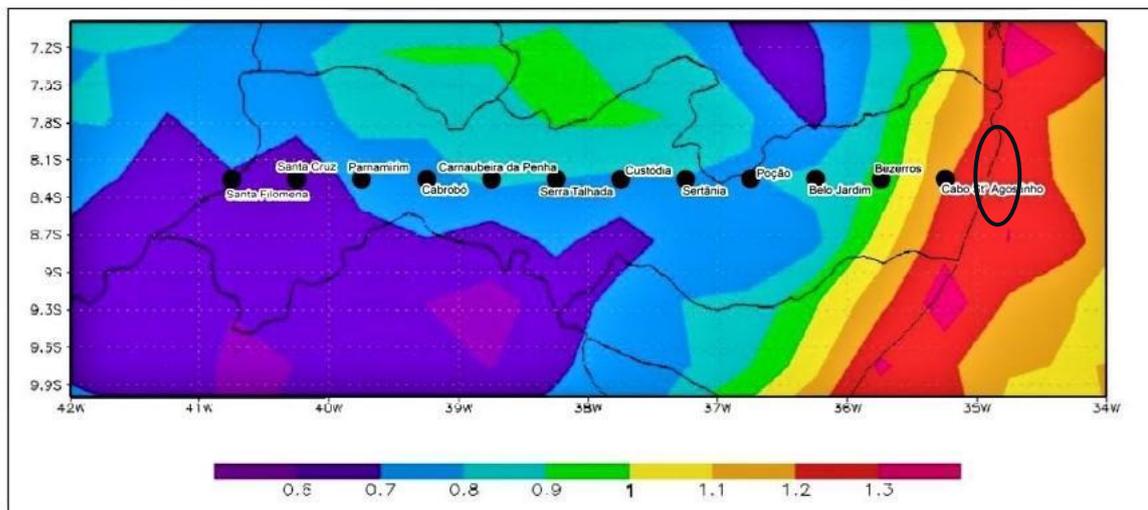
**Figura 33** - Distribuição da média horária da precipitação entre 2018 e 2021 no município do Recife



Fonte: CEMADEN (2021). Elaborado pela autora (2023).

Outro fator determinante para intensificação dos eventos extremos em Recife é a atuação de sistemas atmosféricos como o DOL em períodos da madrugada e manhã. Uma vez que o município, por estar no litoral e próxima ao mar, a atuação do sistema juntamente com o sistema das brisas, tendem a ocasionar volumes ainda mais significativos de precipitação. Ao fazer um estudo sobre a distribuição espaço-temporal dos tipos de chuva em Pernambuco, Anjos *et al.*, (2016) identificaram que na parte litorânea do estado de Pernambuco, em relação as chuvas convectivas (Figura 35), elas ocorrem em menor proporção se comparada as chuvas estratiformes (Figura 34) e estão mais associadas a sistemas atmosféricos responsáveis por formar nuvens mais carregadas e frias (como em um DOL), com topos mais elevados devido ao seu maior potencial de desenvolvimento vertical.

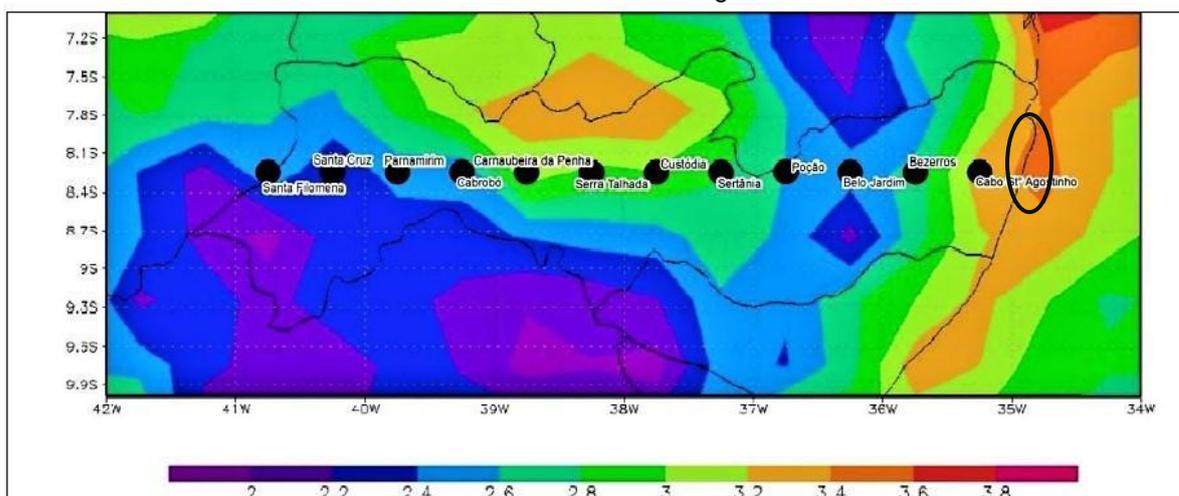
**Figura 34** - Intensidade de precipitação estratiforme acumulada de janeiro de 1998 a junho de 2011 em Pernambuco em mm/h com ênfase na região litorânea do estado



**Fonte:** Anjos (2016). Adaptado pela autora (2023).

Portanto, em Recife, as chuvas que ocorrem durante os períodos da tarde e da noite, mas principalmente da tarde, tendem a ser em sua maioria convectivas e associadas a sistemas como o DOL e o VCAN, com características mais intensas e gotículas mais volumosas, e ocorrem predominantemente durante o período do ano em que atuam esses sistemas.

**Figura 35** - Intensidade de precipitação convectiva acumulada de janeiro de 1998 a junho de 2011 em Pernambuco em mm/h com ênfase na região litorânea do estado



**Fonte:** Anjos (2016). Adaptado pela autora (2023).

As chuvas convectivas são mais facilmente identificadas através das imagens de satélite do infravermelho, enquanto as chuvas estratiformes são vistas com maior dificuldade por serem nuvens mais baixas e espaçadas horizontalmente, tendo

temperaturas mais baixas em suas bases. Esse problema foi identificado na investigação da distribuição dos tipos de chuva através do satélite TRMM pelos autores Anjos *et al.*, (2016) e é um dos fatores que pode dificultar o monitoramento dos tipos de chuvas associadas ao sistema em atuação através das imagens de satélite, além de um possível padrão espacial de distribuição da precipitação associado ao tipo de chuva. Outra questão é que o padrão de distribuição das chuvas estratiformes, que por atingirem mais as áreas de maior altitude ou próximas aos sopés das encostas, mesmo que com menor intensidade se comparado às chuvas convectivas, favorecem uma maior concentração da água precipitada nessas áreas deixando-as vulneráveis a deslizamentos de terra.

Alguns autores como Anjos *et al.*, (2020) recentemente têm identificado também a influência do relevo na distribuição espacial das chuvas em Recife, trazendo para discussão o fato de que mesmo em um relevo com variações altimétricas que vão apenas de 80 a 100m, pode existir um efeito da topografia para uma possível turbulência de nuvens. O fato de Recife estar em uma planície circundada por esses tabuleiros pode atenuar a complexidade acerca dos padrões de vento, uma vez que se sabe que há uma predominância de precipitações com características estratiformes. Pelos tabuleiros não terem altitudes tão elevadas, não é possível afirmar que eles podem ser responsáveis por gerar uma atividade convectiva, mas sim uma turbulência nos ventos locais. Um estudo realizado por Planche *et al.*, (2010) identificou que áreas com características de topografia moderada podem influenciar na formação de pequenos sistemas de precipitação e atividades convectivas curtas.

#### **4.2.3. Análises sinóticas e distribuição espacial dos eventos extremos**

Foram identificados os 5 maiores eventos de precipitação diária da categoria de eventos de chuva extrema entre 2018 e 2021 e estes podem ser vistos na Tabela 7. Os postos de Dois Unidos, Bairro do Recife e Nova Descoberta foram os que apresentaram os maiores volumes diários de chuva nesses eventos, entre os anos de 2019 e 2021, uma vez que não foram constatados eventos no ano de 2018. O maior registro diário foi de 13 de junho de 2019, no posto do Bairro do Recife com 230,2mm.

**Tabela 7** - Postos com registros máximos em dias de eventos extremos e totais pluviométricos (mm)

<b>Data</b>	<b>Posto</b>	<b>Total (mm)</b>
13/06/2019	Bairro do Recife	230,2 mm
24/07/2019	Dois Unidos	181,5 mm
14/06/2020	Nova Descoberta	166,82 mm
11/04/2021	Dois Unidos	151,63 mm
13/05/2021	Bairro do Recife	201,2 mm
28/05/2022	UR3 Ibura	212,8 mm

**Fonte:** CEMADEN, 2022. Elaborado pela autora (2023).

Além dos 5 maiores eventos diários entre 2018 e 2021, o evento de 28 de maio de 2022 foi um dos maiores registrados no município do Recife. Apesar do ano de 2022 não ter integrado as análises, esse evento pôde ser também investigado.

Todos esses eventos foram espacializados e investigados de maneira mais aprofundada, além também do evento ocorrido em maio de 2022.

#### 4.2.3.1. Evento do dia 13 de junho de 2019

De acordo com o boletim do CPTEC (INPE) do dia 13 de junho de 2019, e a partir das observações das cartas sinóticas das 00:00h e 12:00h (Prancha 1 – C e D), é possível notar a existência de cavados nas proximidades do litoral do Nordeste. Esses cavados são apresentados com tracejados próximos ao campo F das cartas sinóticas, nas proximidades do litoral de Pernambuco e Paraíba. Observa-se também que a presença do cavado nas cartas sinóticas, estão associadas a instabilidade atmosférica e aos Distúrbios Ondulatórios de Leste, que podem ser vistos nas imagens do satélite GOES 16 no campo do infravermelho termal (Prancha 1 – E e F).

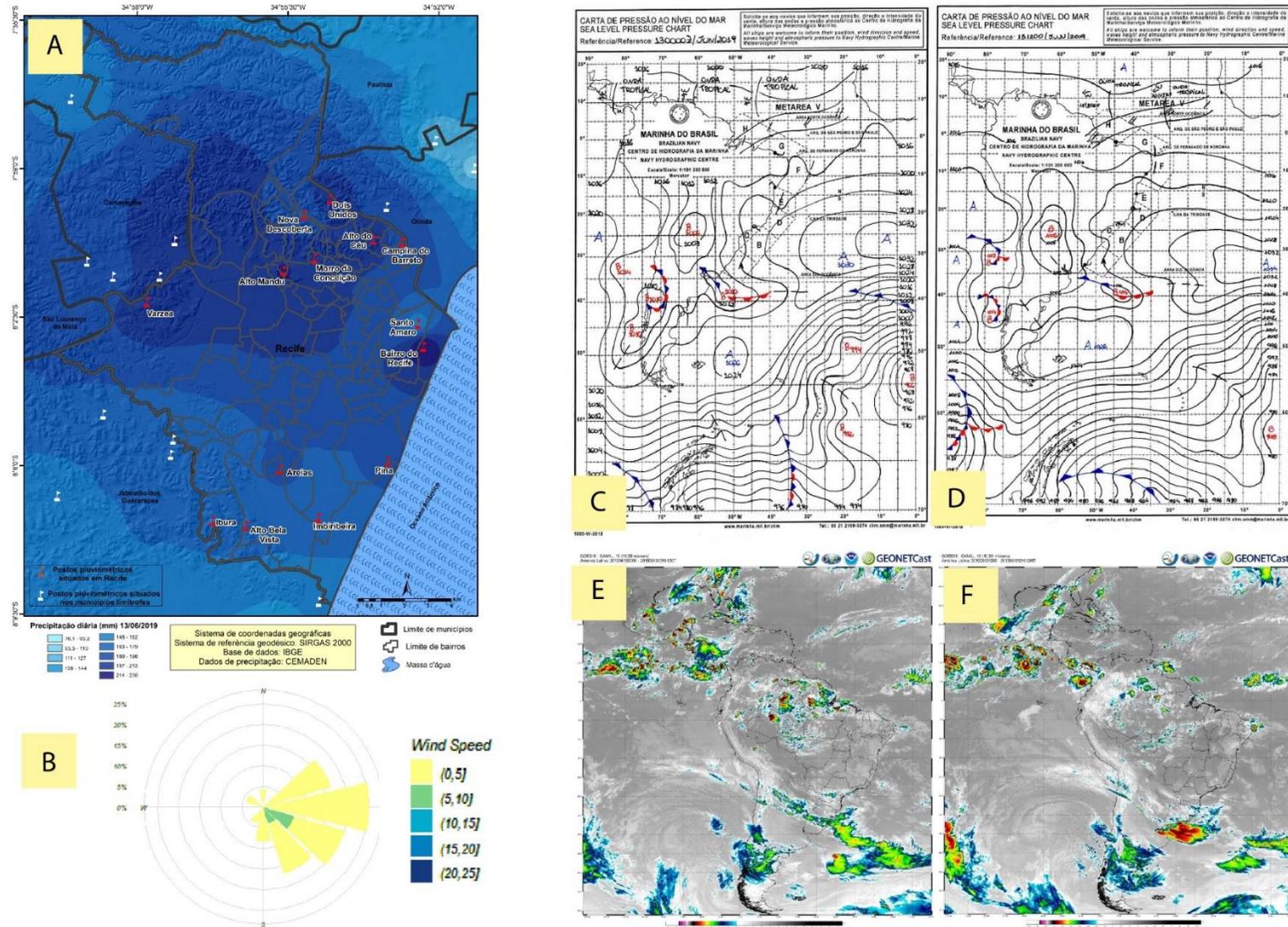
A Alta subtropical do Atlântico Sul (ASAS) é responsável pelo escoamento em grande parte do país, com um padrão de circulação que favorece ventos perpendiculares na costa leste do NEB., contribuindo para a alta nebulosidade e para as chuvas na região. Segundo o boletim, a responsável pela nebulosidade e chuvas de intensidade moderada, e por vezes localmente forte, como ocorreu em Recife, foi o escoamento de leste e sudeste associado ao cavado invertido em superfície e o cavado em altitude. É especificado que os acumulados ocorreram entre a costa de PE e PB.

Ao observar a espacialização das chuvas no dia 13 de junho (Prancha 1 – A), nota-se uma maior concentração da precipitação na parte setentrional, oeste e leste

do município. O maior total diário foi registrado no posto do bairro do Recife, área central da cidade e localizado na área da planície, em seguida dos postos localizados nos bairros como Alto do Mandu, Alto do Céu e Morro da Conceição, estes encontrados mais próximos as áreas de tabuleiros e/ou encostas. Essa concentração diária das chuvas pode ser explicada pela direção e velocidade dos ventos no dia do evento, ocorrendo principalmente de leste/sudeste com velocidade variando de 5 a 10 m/s (Prancha 1 – B). Outro fator que favoreceu essa configuração das chuvas espacialmente, se dá pela atuação do sistema de DOL, em que nas imagens de satélite é possível observar que a banda de nuvens se encontra na parte mais ao norte do litoral pernambucano e no sul do litoral da Paraíba, desencadeando mais chuvas nestas localidades, e um menor volume das chuvas na parte ao sul.

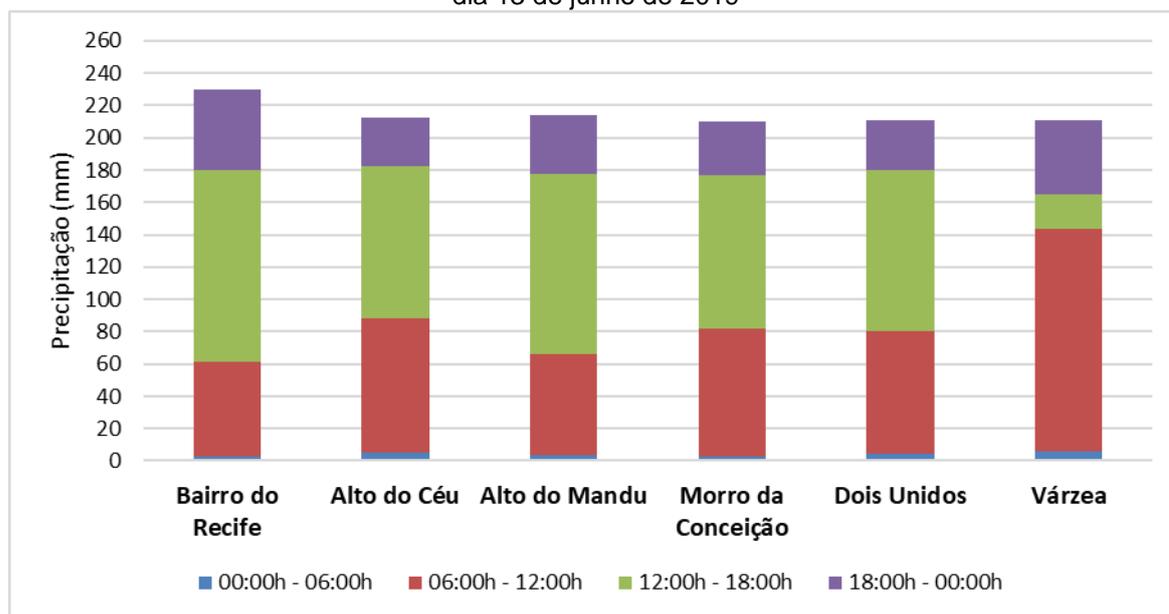
As chuvas se concentraram em maior intensidade no período da tarde, entre às 12:00h e 18:00h, como é possível observar no gráfico da (Figura 36) que mostra a distribuição periódica diária dos postos com maiores volumes de precipitação no dia 13 de junho. Há a exceção apenas do posto pluviométrico da Várzea, em que a chuva teve maior intensidade no período entre às 06:00h e 12:00h da manhã. Essas informações corroboram com as análises sobre os tipos de chuva em Recife, uma vez que há maior atuação da brisa marítima no horário da manhã associado as chuvas estratiformes e sua relação com o relevo. O posto da Várzea se encontra muito próximo aos sopés das encostas a sotavento e voltadas para a direção predominante dos ventos.

**Prancha 1 -** Espacialização da precipitação diária em Recife-PE (A); Rosa dos ventos (B); Cartas sinóticas das 00h (C) e 12h (D); Imagens do satélite Goes 16 de 800 HPa das 00h (E) e 12h (F) do dia 13/06/2019



Fonte: CEMADEN, Marinha do Brasil e CPTEC/INPE (2022).

**Figura 36** - Distribuição periódica da precipitação nos postos com os maiores volumes de chuva no dia 13 de junho de 2019

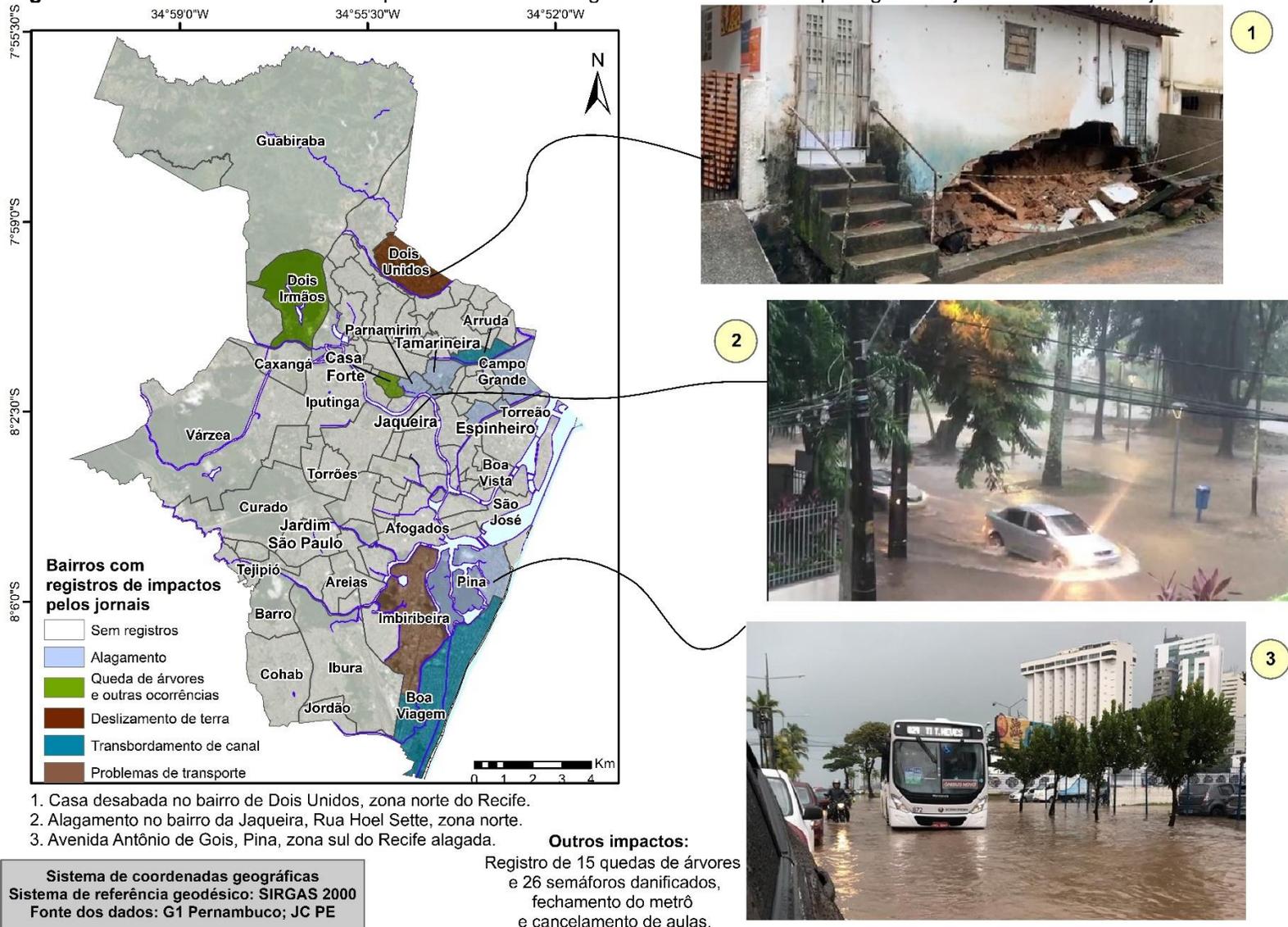


Fonte: CEMADEN (2021). Elaborado pela autora (2023).

Em relação aos maiores volumes concentrados no período da tarde, nota-se que há uma maior atuação do sistema a partir das 12h como se observa na imagem de satélite da Prancha 1 – F, formando nuvens com topos elevados e temperaturas muito baixas, associadas à forte atividade convectiva. Essas nuvens estão atuando com maior força do centro ao norte do município do Recife, e como dito anteriormente, explica uma maior concentração dos volumes de chuva nos postos pluviométricos da zona norte do Recife.

Essa distribuição das chuvas esteve atrelada a distribuição dos impactos. Os jornais locais destacaram os bairros com maiores ocorrências de impactos, sendo estes, Dois Irmãos, Dois Unidos, Casa Forte, Parnamirim, Tamarineira, Arruda, Campo Grande, Torreão, Espinheiro e Jaqueira, localizados na parte norte e os bairros da zona sul, Imbiribeira, Pina e Boa Viagem (Figura 37). Cabe destacar que não foram registrados óbitos, mas um desabamento de parte de uma casa no bairro de Dois Unidos. Ressalta-se que as variações de maré em Recife são responsáveis por intensificar os impactos de chuvas extremas, já que a maré alta dificulta o escoamento da água e facilita os alagamentos e o transbordamento de canais.

**Figura 37 - Bairros mais afetados e impactos associados registrados através das reportagens de jornais no dia 13 de junho de 2019**



**Fonte:** Jornal O Globo e Jornal do Comércio (2019). Organizado e elaborado pela autora (2023).

#### 4.2.3.2. Evento do dia 24 de julho de 2019

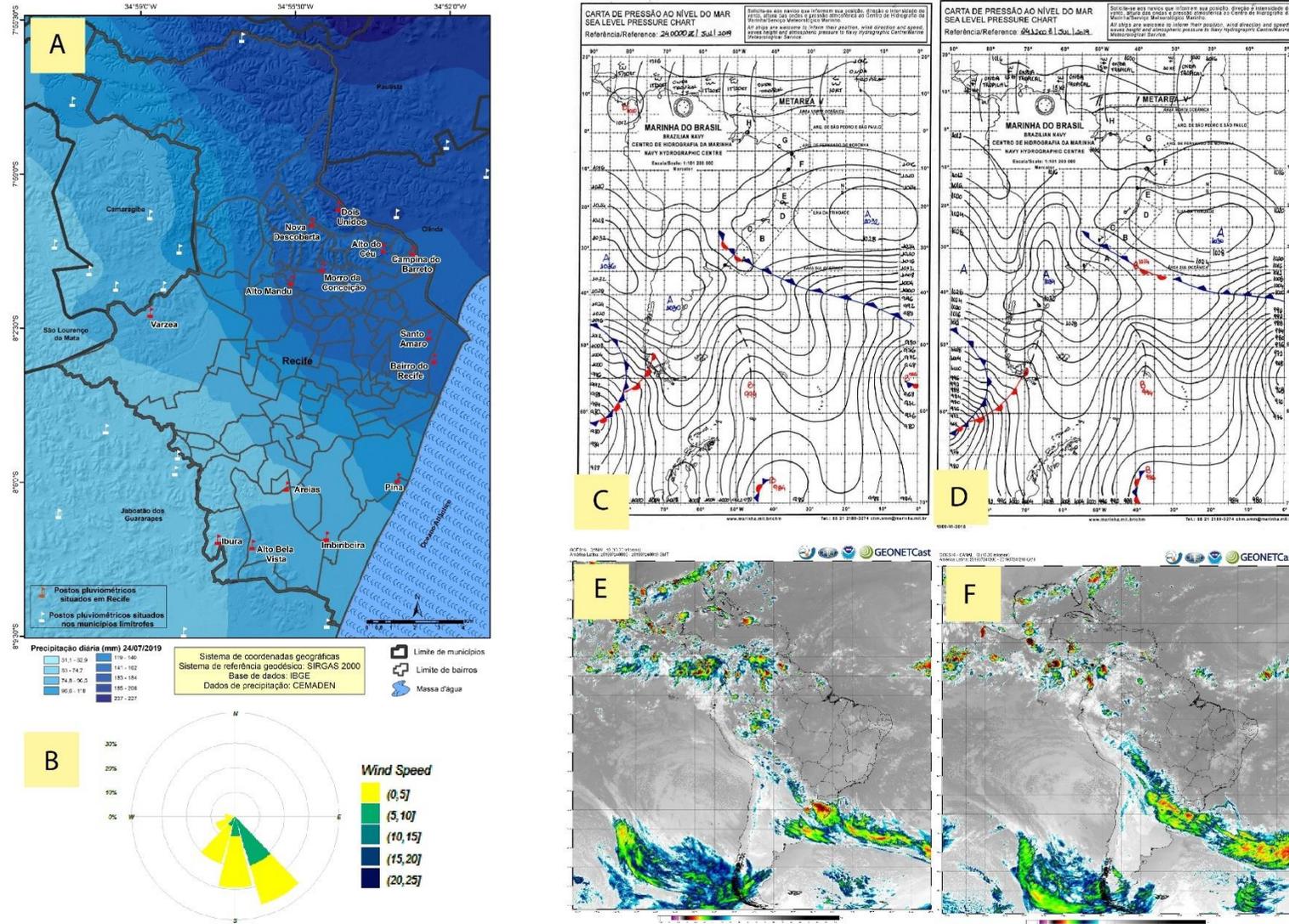
De acordo com o boletim climatológico do dia 24/07/2019 é possível observar através das imagens de satélite e das cartas sinóticas a presença de um cavado sobre a parte leste do NEB. Além disso, nota-se uma forte advecção de ventos do norte desde a Bolívia até o sul do Brasil, gerando jatos de baixos níveis, reforçado pela Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Ressalta-se que esse sistema deixa o predomínio do escoamento anticiclônico por grande parte do continente e favorece o transporte de umidade do oceano para o continente, contribuindo para nebulosidade baixa na costa do Nordeste, aumentando a intensidade dos ventos alísios (Prancha 2 – E e F).

Segundo a previsão, o transporte da umidade do oceano, combinado com a presença do cavado em baixos níveis, manteve o tempo instável com chuvas ao longo do dia, que por conta da persistência, gerou acumulados ao final do dia da costa de Alagoas até a Paraíba. Além disso, é possível observar nas cartas sinóticas da Marinha nas figuras C e D da Prancha 2, que há o deslocamento da frente fria para o norte ao longo do dia, comprimindo e deslocando a ASAS para o norte. No campo F, constatou-se que nas proximidades do litoral de Pernambuco, há uma presença de grande nebulosidade, gerando acumulados diários de precipitação entre 100 e 200 milímetros em alguns bairros do Recife (Prancha 2 – A).

A espacialização das chuvas diárias mostra que os maiores acumulados se concentraram nos bairros localizados no norte do município, sendo o posto de Dois Unidos o que teve maior registro. Outros postos como o do Alto do Mandu, Nova Descoberta, Morro da Conceição, Alto do Céu e Campina do Barreto ficaram logo em seguida. Cabe ressaltar que esses bairros concentram áreas de risco e socioeconomicamente vulneráveis, além de estarem localizados em encostas de tabuleiros ou em suas proximidades. Os postos do bairro do Recife e Santo Amaro, localizados mais próximos ao litoral e nordeste do município, também registram grande volume de precipitação. Nas imagens de satélite, observa-se que a presença da nebulosidade é mais intensa nessa parte, entre as áreas ao norte da costa de Pernambuco e ao sul do estado da Paraíba.

A predominância dos ventos de sudeste e sul (Prancha 2 – B), também favoreceram a concentração das chuvas na região norte e nordeste do município, tendo possivelmente um maior impacto nas encostas voltadas para essa direção.

**Prancha 2 -** Espacialização da precipitação diária em Recife-PE (A); Rosa dos ventos (B); Cartas sinóticas das 00h (C) e 12h (D); Imagens do satélite Goes 16 de 800 HPa das 00h (E) e 12h (F) do dia 24/07/2019

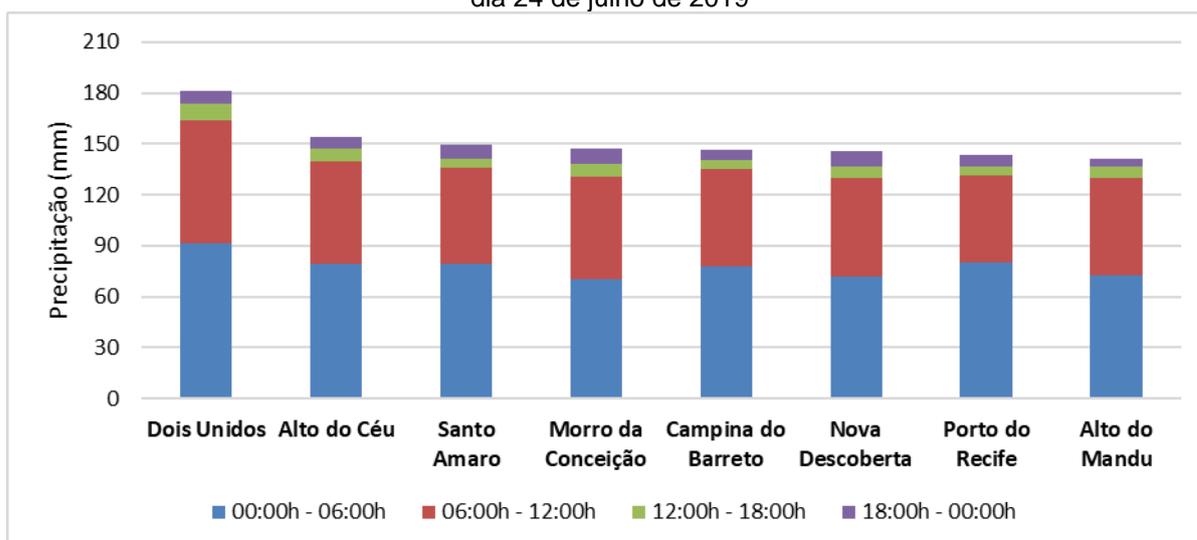


Fonte: CEMADEN, Marinha do Brasil e CPTEC/INPE (2022).

De acordo com o gráfico apresentado na Figura 38 que mostra a distribuição sazonal diária das chuvas no dia do evento, é possível observar uma concentração maior das chuvas na madrugada, entre as 00:00h e 00:06h, com continuidade durante a manhã das 00:06h às 12:00h. Esse padrão é visto durante o dia em todos os postos pluviométricos, com destaque para o de Dois Unidos registrando aproximadamente 100mm em apenas 6 horas. Outra questão válida de salientar, é a possível atuação das brisas marítimas juntamente ao DOL, que pode ter intensificado as chuvas no nesse período do dia.

Os impactos desse evento foram significativos para o município do Recife, que já vinha sendo fortemente atingido por chuvas a 5 dias (241 mm) de acordo com os jornais locais (G1 PERNAMBUCO, 2019; JC ONLINE, 2019).

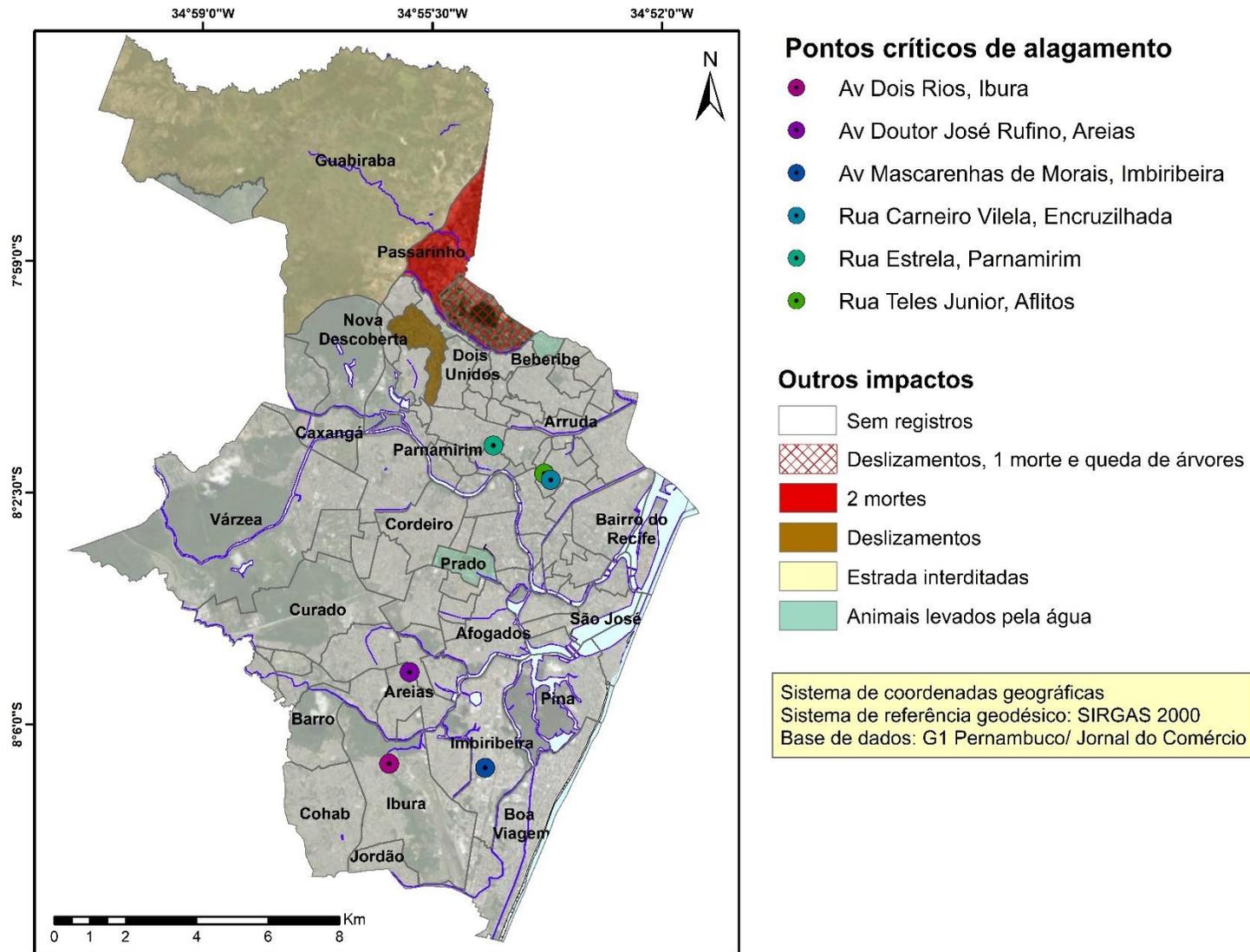
**Figura 38** - Distribuição periódica da precipitação nos postos com os maiores volumes de chuva no dia 24 de julho de 2019



Fonte: CEMADEN (2021). Elaborado pela autora (2023).

Segundo as informações dos jornais, além do município do Recife, outros municípios da Região Metropolitana do Recife também relataram registros de mortes, soterramentos, e diversas pessoas ficaram desalojadas (Figura 39).

**Figura 39** - Ocorrências de impactos registrados pelos jornais locais em Recife no dia 24 de julho de 2019



Fonte: G1 Pernambuco, (2019) e JC PE (2019). Elaborado pela autora (2023).

A combinação de uma maior concentração das chuvas na porção norte do município, com uma maior susceptibilidade dos bairros dessa região, culminou em um maior registro de impactos. Nos bairros de Dois Unidos e Passarinho, foram registradas 3 mortes.

Além de alguns pontos de alagamentos, como o da BR 101 no bairro da Guabiraba (Figura 40 – (b)), também foram registrados deslizamentos de terra nos bairros de Passarinho (Figura 40 – (a)) e Nova Descoberta.

**Figura 40** - (a) Deslizamento de barreira no bairro de Passarinho; (b) Alagamento na BR 101 na Guabiraba



**Fonte:** G1 Pernambuco (2019).

#### 4.2.3.3. Evento do dia 14 de junho de 2020

É possível perceber a partir desse evento, uma grande variabilidade das chuvas no município do Recife. A espacialização da precipitação (Prancha 3 – A) deixa em evidência uma maior concentração em áreas locais da zona norte do município, especialmente nos postos de Nova Descoberta e Dois Unidos. Essas áreas são conhecidas pela grande quantidade de áreas de risco a deslizamentos, principalmente localidades do bairro de Nova Descoberta, na qual Anjos *et al.* (2023) realizaram um trabalho destacando uma grande relação entre o mapeamento das áreas de risco, a concentração populacional e os desastres decorrentes de chuvas extremas. Segundo a pesquisa, além de ser um dos bairros mais socioeconomicamente vulnerável, Nova Descoberta tem recordes de óbitos e ocorrências de desastres.

A precipitação diária de 14 de junho de 2020 foi a segunda maior registrada no bairro de Nova Descoberta e o maior registro de chuvas acumulada em 4 dias (295,78 mm), sendo o primeiro maior registro de 19 de junho de 2019. Anjos *et al.* (2023) buscaram compreender de que forma a precipitação tem impacto na vida da população, e quais mecanismos potencializaram esse evento extremo diário.

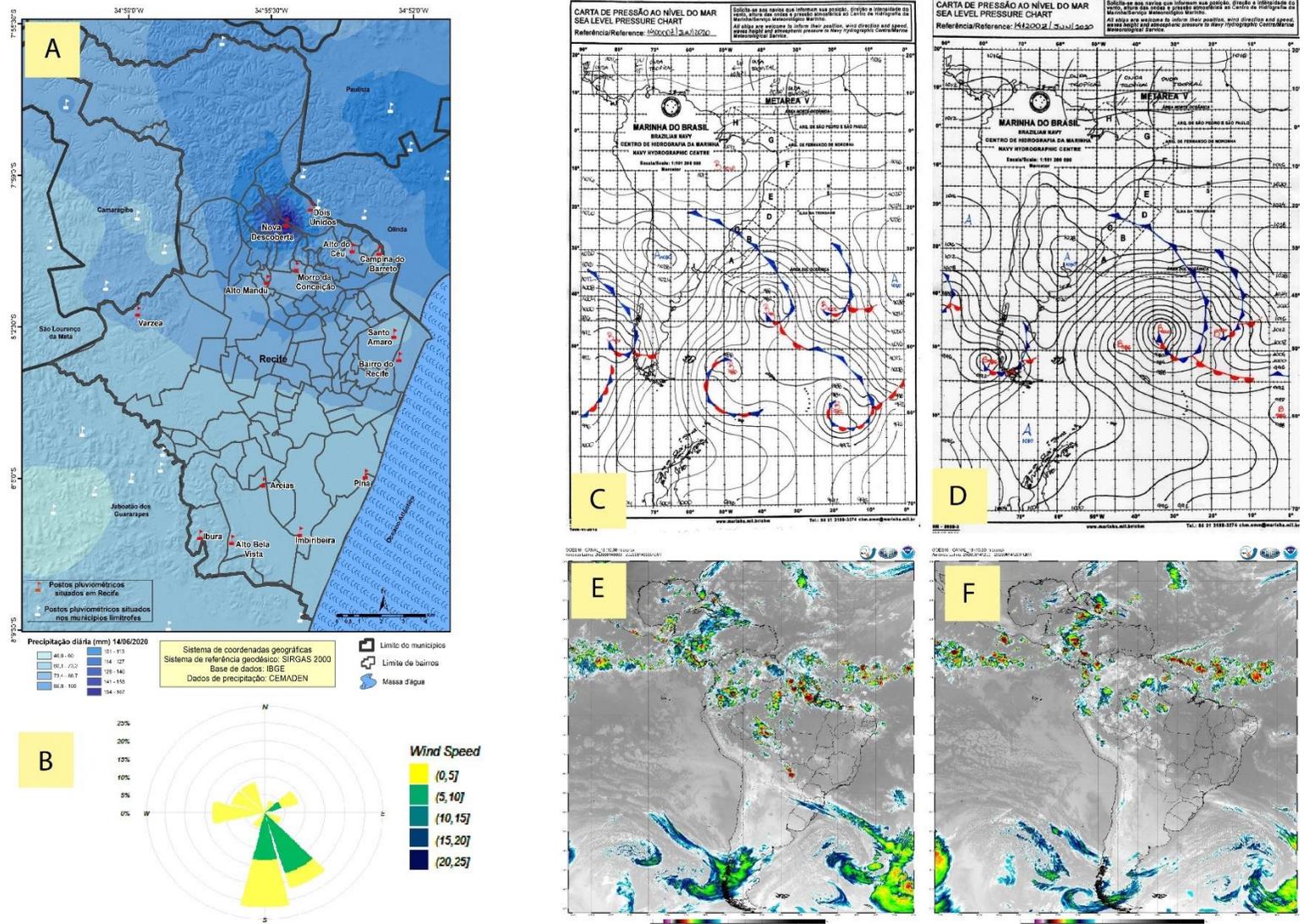
De acordo com os autores, segundo documento que informa os eventos significativos do mês de junho de 2020, emitido pelo CPTEC (Centro de previsão do tempo e estudos climáticos) para o Brasil, nos dias 15 e 16 ocorreram chuva forte/intensa devido a um fluxo de leste, impactando parte do estado de Pernambuco. Isso ressalta que as chuvas do dia 14, continuaram nos dias posteriores.

O boletim do CPTEC para o dia 14 de junho de 2020 diz que é possível perceber através das cartas sinóticas um escoamento associado à Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), de leste/sudeste do oceano em direção ao continente e com perturbações em alguns pontos. Há um cavado atuando na costa leste do Nordeste associado a um Distúrbio Ondulatório de Leste, responsável por causar fortes chuvas com intensidade variável, e possíveis acumulados pontuais.

A previsão para o mesmo dia dizia sobre a ocorrência de chuvas expressivas em parte do leste do Nordeste, principalmente entre áreas de Alagoas e Pernambuco, associado à convergência de umidade dos ventos alísios, que avança na forma de pulso ciclônico. O boletim reforça que essa condição é prevista para os dias seguintes, o que explica a continuação das chuvas, mesmo que de forma mais moderada.

As imagens das cartas sinóticas da Marinha do Brasil (Prancha 3 – C e D) reforçam o que diz o boletim do CPTEC. Há possivelmente um aumento da precipitação no período do fim da manhã e tarde, devido a uma diminuição da pressão atmosférica (campo F das cartas sinóticas) e aumento das nuvens na costa norte do estado de Pernambuco e sul do estado da Paraíba (Prancha 3 – E e F). A direção e velocidade dos ventos predominantes durante o dia foram de sul e sudeste (Prancha 3 – B), reforçando os estudos de Anjos *et al.* (2020) sobre a espacialização das chuvas em Recife. Os autores apontam que as encostas voltadas para a direção dos ventos predominante, e com grandes declividades, tendem a concentrar maiores volumes pluviométricos. Anjos *et al.* (2023) em um estudo acerca do risco a deslizamentos e impactos socioambientais associados no bairro de Nova Descoberta, citam que há uma grande parte do bairro situado em áreas de risco, com altitudes mais elevadas e declivosas.

Prancha 3 - Espacialização da precipitação diária em Recife-PE (A); Rosa dos ventos (B); Cartas sinóticas das 00h (C) e 12h (D); Imagens do satélite Goes 16 de 800 HPa das 00h (E) e 12h (F) do dia 14/06/2020

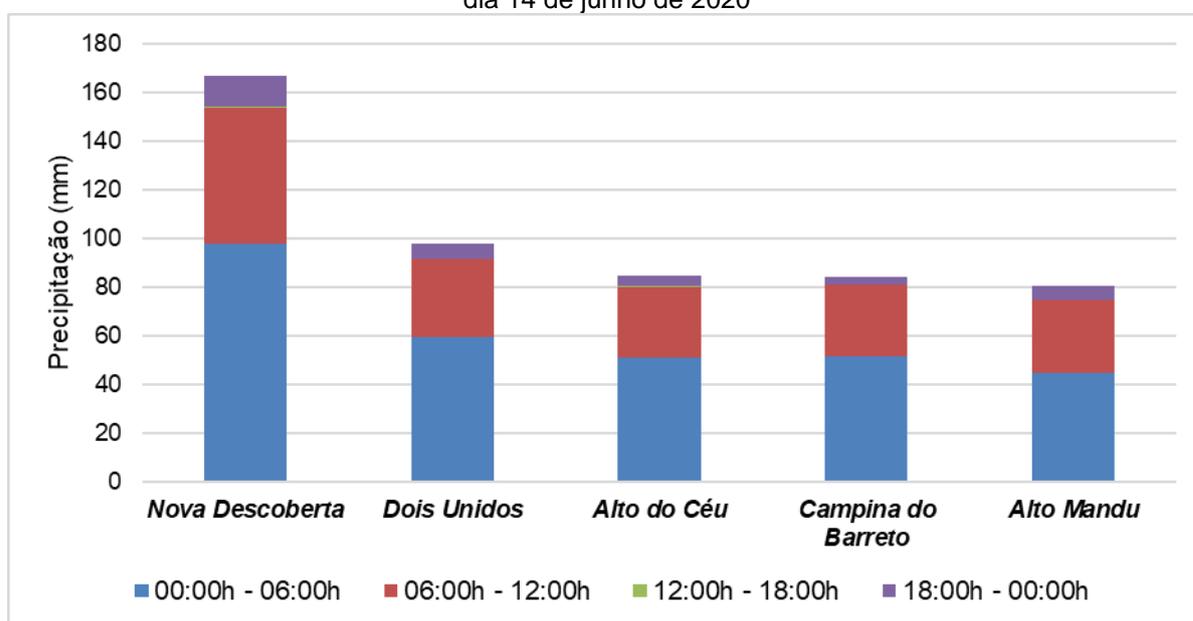


Fonte: CEMADEN, Marinha do Brasil e CPTEC/INPE (2022).

Ressalta-se que enquanto 2019 foi considerado um ano com chuvas dentro da média, 2020 foi um ano muito seco para Recife, com chuvas muito abaixo do normal. Isso mostra que os eventos pluviométricos extremos estão acontecendo todos os anos independentemente dos totais anuais.

As chuvas no dia 14 de junho de 2020 se concentraram durante a madrugada, entre as 00:00h e 06:00h (Figura 41). Nas imagens de satélite GOES Prancha 3 – E e F, é possível perceber uma maior intensidade do sistema durante esse período.

**Figura 41** - Distribuição periódica da precipitação nos postos com os maiores volumes de chuva no dia 14 de junho de 2020



Fonte: CEMADEN (2021). Elaborado pela autora (2023).

Mesmo com uma diminuição das chuvas durante a tarde, as chuvas retornaram à noite, mas com menor intensidade que as chuvas caídas de madrugada e pela manhã. Com as chuvas na madrugada, a cidade amanheceu com vários pontos de alagamento, mas principalmente na zona norte do município, em vias importantes como a Av. Norte que dá acesso a vários bairros do município. Além disso, foram registradas quedas de árvores (Tabela 8).

**Tabela 8** - Registros de impactos no dia 14 de junho de 2020 e principais locais afetados

<b>Problemas urbanos</b>	<b>Locais afetados</b>
<b>Alagamentos</b>	Vários trechos da Av. Norte em vários bairros da zona norte do Recife.
<b>Queda de árvores e de energia elétrica</b>	Av. 17 de agosto no bairro de Apipucos.

Fonte: G1 Pernambuco (2020) e JC Online (2020). Elaborado pela autora (2023).

De acordo com as informações relacionadas aos impactos do episódio pelos jornais, também foi relatado a queda de energia em bairros da zona norte, decorrentes da queda de árvores (Figura 42 – (b)). Além da porção norte do município do Recife, as chuvas atingiram fortemente o município de Olinda (Figura 42 – (a)).

**Figura 42** - (a) Manchete de jornal do dia 14 de junho de 2020 informando sobre o alerta das chuvas; (b) Queda de árvore no bairro de Apipucos



Fonte: G1 Pernambuco (2020).

#### 4.2.3.4. Evento do dia 11 de abril de 2021

Na análise das cartas sinóticas da Marinha do Brasil às 00:00h e 12:00h na Prancha 4 – C e D, é possível observar um escoamento de leste (DOL) em direção às regiões norte e nordeste do país. Esse sistema entra em confluência um pouco mais ao norte na região de atuação da ZCIT, favorecendo a instabilidade conferida nas imagens de satélite tanto mais a oeste do continente, como na parte mais ao leste da costa do NEB (Prancha 4 – E e F).

De acordo com o boletim do CPTEC, há a presença de uma circulação anticiclônica entre o norte do Paraguai e o sul da Bolívia. Há a presença de um cavado de leste em níveis baixos e médios na costa da Bahia, responsável por causar instabilidade em grande parte da costa litorânea. Segundo as previsões, grandes volumes de chuva estavam previstos para os estados de Alagoas e Pernambuco, e em direção ao agreste. Ainda de acordo com as previsões do boletim, as chuvas tenderiam a permanecer durante os dias seguintes devido ao escoamento de leste.

As imagens de satélite reforçam a atuação de um Distúrbio Ondulatório de Leste, intensificado pelo canal de umidade vindo da ZCIT. Observa-se que as nuvens atuaram e estiveram presentes com maior força na parte ao sul da costa do estado, o que pode explicar uma maior concentração das chuvas ao sul da Região

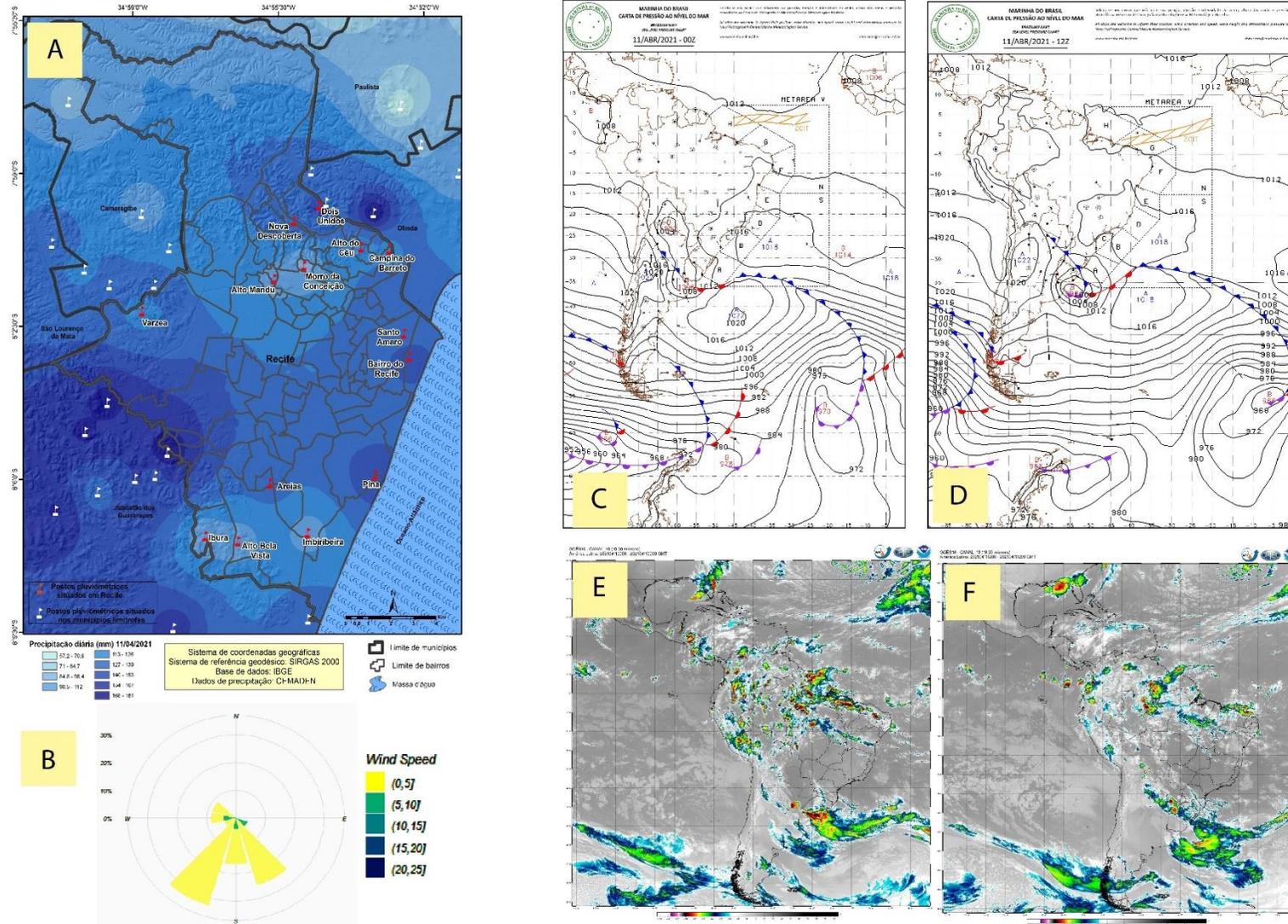
Metropolitana do Recife. No município do Recife, as chuvas se concentraram mais ao leste, sudoeste e em parte da zona norte. Os ventos durante o dia se distribuíram de maneira difusa (Prancha 4 – B) , o que pode justificar uma maior distribuição espacial das chuvas no município.

Os postos pluviométricos de Dois Unidos, Pina e do Bairro do Recife foram os que registraram os maiores totais pluviométricos diários observados na Prancha 4 - A (151,63; 147,71; 144,4; respectivamente). O ano de 2021 apesar de ter registrado total anual de precipitação dentro da média normal esperada para o município, apresentou registros de eventos extremos em todos os meses da quadra chuvosa, entre abril e julho.

Com as variações na direção dos ventos durante o dia, vindos em grande parte tanto de sudeste, como de sul e sudoeste (Prancha 4 – B), é possível ver que as chuvas se concentraram em períodos sazonalmente distintos durante o dia. Os postos localizados na porção sul (Pina e Areias), tiveram uma maior quantidade de chuvas durante a madrugada, entre as 00:00h e 06:00h. O mesmo acontece com os postos localizados na porção norte (Dois Unidos e Nova Descoberta) (Figura 44).

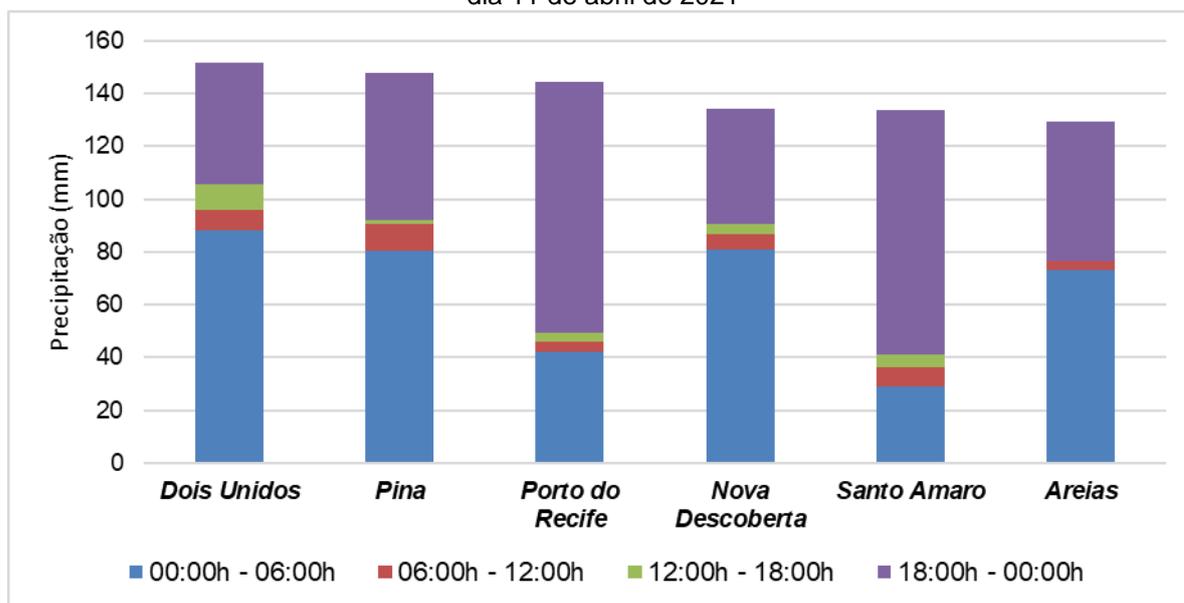
De maneira diferente, os postos do Bairro do Recife e Santo Amaro localizados na parte leste, tiveram uma maior concentração das chuvas durante a noite, entre às 18:00h e 00:00h (Figura 43). As explicações para essas variações na distribuição diária e sazonal diária das chuvas podem ser reforçadas pela mudança nos padrões dos ventos diários e na área de abrangência do sistema.

**Prancha 4 -** Espacialização da precipitação diária em Recife-PE (A); Rosa dos ventos (B); Cartas sinóticas das 00h (C) e 12h (D); Imagens do satélite Goes 16 de 800 HPa das 00h (E) e 12h (F) do dia 11/04/2021



Fonte: CEMADEN, Marinha do Brasil e CPTEC/INPE (2022).

**Figura 43** - Distribuição periódica da precipitação nos postos com os maiores volumes de chuva no dia 11 de abril de 2021

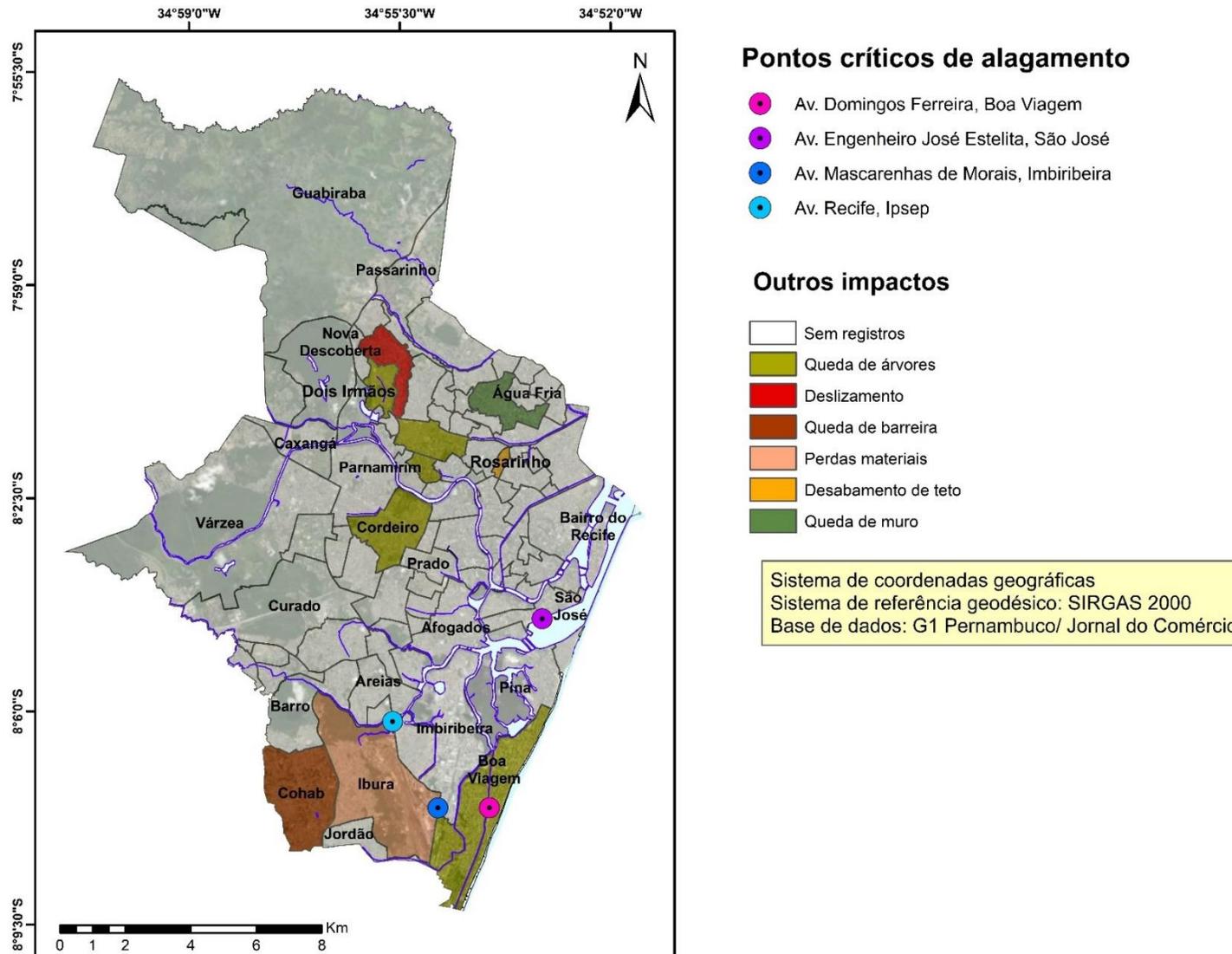


Fonte: CEMADEN (2021). Elaborado pela autora (2023).

Com relação aos impactos que atingiram o município em razão dos volumes acentuados de chuva, destaca-se que as ocorrências mais severas diziam respeito a deslizamentos de terra e outros associados, como queda de barreiras e muro. Essas ocorrências, com potencial maior para afetar negativamente a integridade física das populações, ocorreram em locais com grande vulnerabilidade socioambiental e econômica. Outros impactos estavam relacionados a quedas de árvores (mais de 30 ocorrências) e outras perdas materiais. Além disso, pontos críticos de alagamentos estavam situados de acordo com as reportagens dos jornais (Figura 44), em grandes avenidas de circulação, impedindo o fluxo normal dos veículos.

Outra ocorrência registrada no bairro da Cohab, zona sul do Recife, foi a de um homem levado pela água. A queda de barreira no mesmo bairro, foi localizada como sendo na comunidade de Jardim Monte Verde (situada no limite entre os municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes), uma das mais vulneráveis da área (Figura 44).

**Figura 44** - Bairros mais afetados e impactos associados registrados através das reportagens de jornais no dia 11 de abril de 2021



Fonte: G1 Pernambuco (2021) e JC Online (2021). Elaborado pela autora (2023).

Outra informação significativa dada pelos jornais (G1 PERNAMBUCO, 2021), foi a confirmação da atuação do sistema de DOL no Recife, de acordo com a Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC). Por ter um tempo de atuação de 3 a 5 dias, o DOL continuou atuando nos dias seguintes, fazendo com que o mês de abril fosse bastante chuvoso e causasse também enchentes. No JC Online (2021), há relatos de que houve a enchente do Rio Beberibe e havia uma grande quantidade de lixo sendo levado, formando até mesmo uma capa por cima do rio. Pensando na perspectiva da drenagem, esse lixo é levado para outros pontos do município que estão mais próximos da foz, auxiliando para a ocorrência de outros pontos de alagamento.

#### 4.2.3.5. Evento do dia 13 de maio de 2021

A partir das imagens do satélite Goes 16 às 00:00h e 12:00h (Prancha 5 – E e F), nota-se uma nebulosidade intensa na costa do NEB, com um aumento significativo no litoral do estado de Pernambuco no fim da manhã e início da tarde a partir do deslocamento da onda associada ao escoamento vindo leste, como é possível observar nas cartas sinóticas da Marinha do Brasil (Prancha 5 – C e D).

De acordo com o boletim do CPTEC para o dia 13/05/2021 observa-se uma ampla circulação anticiclônica responsável pelo escoamento na região nordeste e em grande parte do interior do Brasil. O que aumenta a turbulência e a intensidade dessas nuvens são a convergência desse escoamento vindo de leste, com a ZCIT em sua zona de atuação.

A previsão do boletim diz que o acumulado de chuva entre o leste do Rio Grande do Norte e de Pernambuco das 12:00h UTC do dia anterior às 12:00h UTC do dia 13/05 foi de pouco mais de 100 mm. As causas se associam ao padrão de escoamento em altos níveis, combinados com o aporte de calor e umidade, causando chuvas isoladas e em curto período. Nota-se ainda a influência de uma banda secundária da ZCIT, trazendo chuvas desde os litorais de Manaus até o Rio Grande do Norte, e se associando ao escoamento de leste e presença de um cavado, em parte da costa litorânea do Nordeste, até o estado de Alagoas.

Os totais diários de chuva variaram acima de 100 e um pouco mais de 200 mm entre os postos no município do Recife. Foram registrados grandes volumes de precipitação em algumas localidades dos municípios limítrofes a Recife,

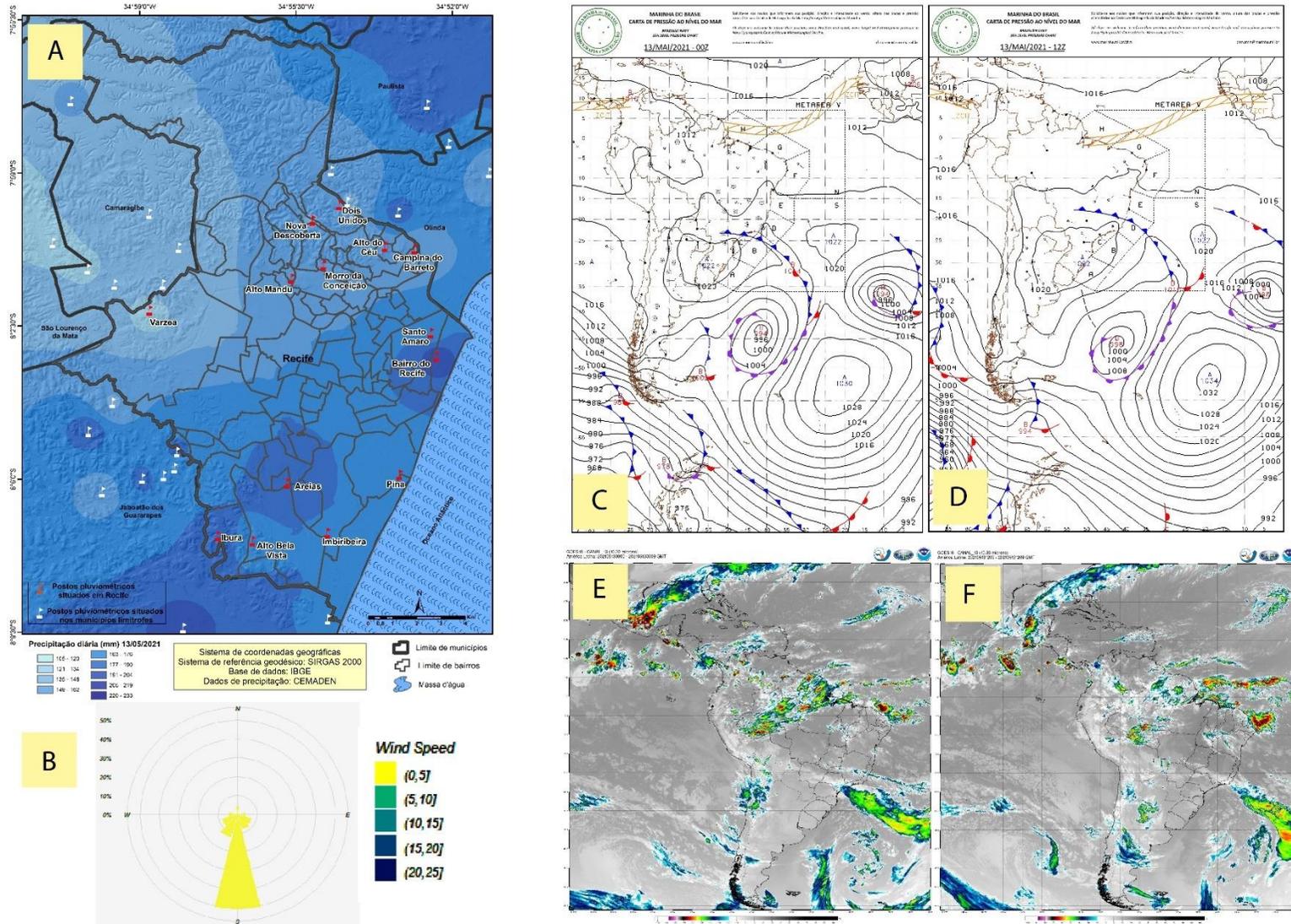
principalmente na parte norte de Jaboatão dos Guararapes e áreas próximas às encostas em Olinda e Paulista.

Os postos no município do Recife com maiores volumes de precipitação diária foram o do bairro do Recife (201,2 mm), Areias (185,8 mm), Ibura (181,39 mm) e Alto da Bela Vista (171,11 mm). O posto que registrou o menor volume de chuvas foi o da Várzea (124,13mm), mas todos os outros postos tiveram registros acima de 150 mm de precipitação diária (Prancha 5 – A).

A direção dos ventos variou ao longo do dia, sendo predominante no sentido sul. Entretanto, a velocidade foi baixa, variando de 0 a 5 m/s. Isso pode explicar uma maior intensidade das chuvas nos postos localizados ao sul e leste do município, aumentando a probabilidade de hipóteses de chuvas convectivas associadas ao Distúrbio Ondulatório de Leste combinado com o aporte de calor e umidade da superfície.

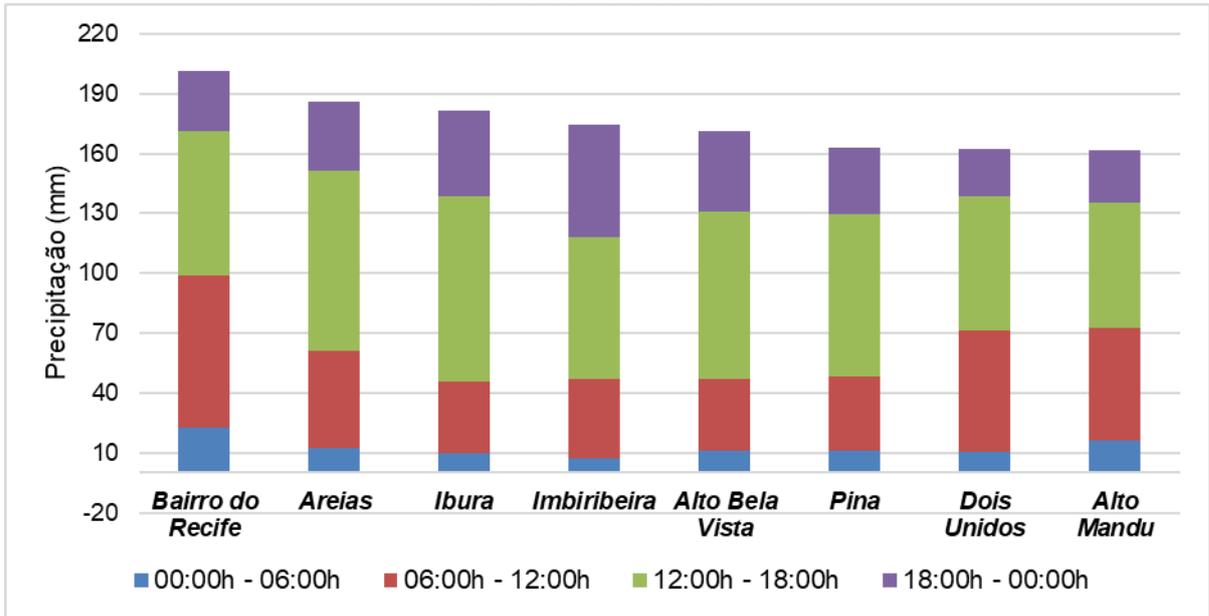
Corroborando com as imagens de satélite GOES (Prancha 5 – E e F), em que há uma maior atuação do sistema de DOL durante o período da tarde na área do município do Recife, o gráfico de sazonalidade horária das chuvas (Figura 45) mostra que houve uma maior concentração do volume pluviométrico entre às 12:00h e 18:00h em todos os postos. No posto do Bairro do Recife, o que teve maior registro diário das chuvas, foram mais de 50mm em apenas 5 horas durante a tarde. Tendo em vista que as chuvas iniciaram com intensidade moderada durante a madrugada e se intensificaram durante o resto do dia, foi suficiente para causar impactos significativos.

**Prancha 5 -** Espacialização da precipitação diária em Recife-PE (A); Rosa dos ventos (B); Cartas sinóticas das 00h (C) e 12h (D); Imagens do satélite Goes 16 de 800 HPa das 00h (E) e 12h (F) do dia 13/05/2021



Fonte: CEMADEN, Marinha do Brasil e CPTEC/INPE (2022).

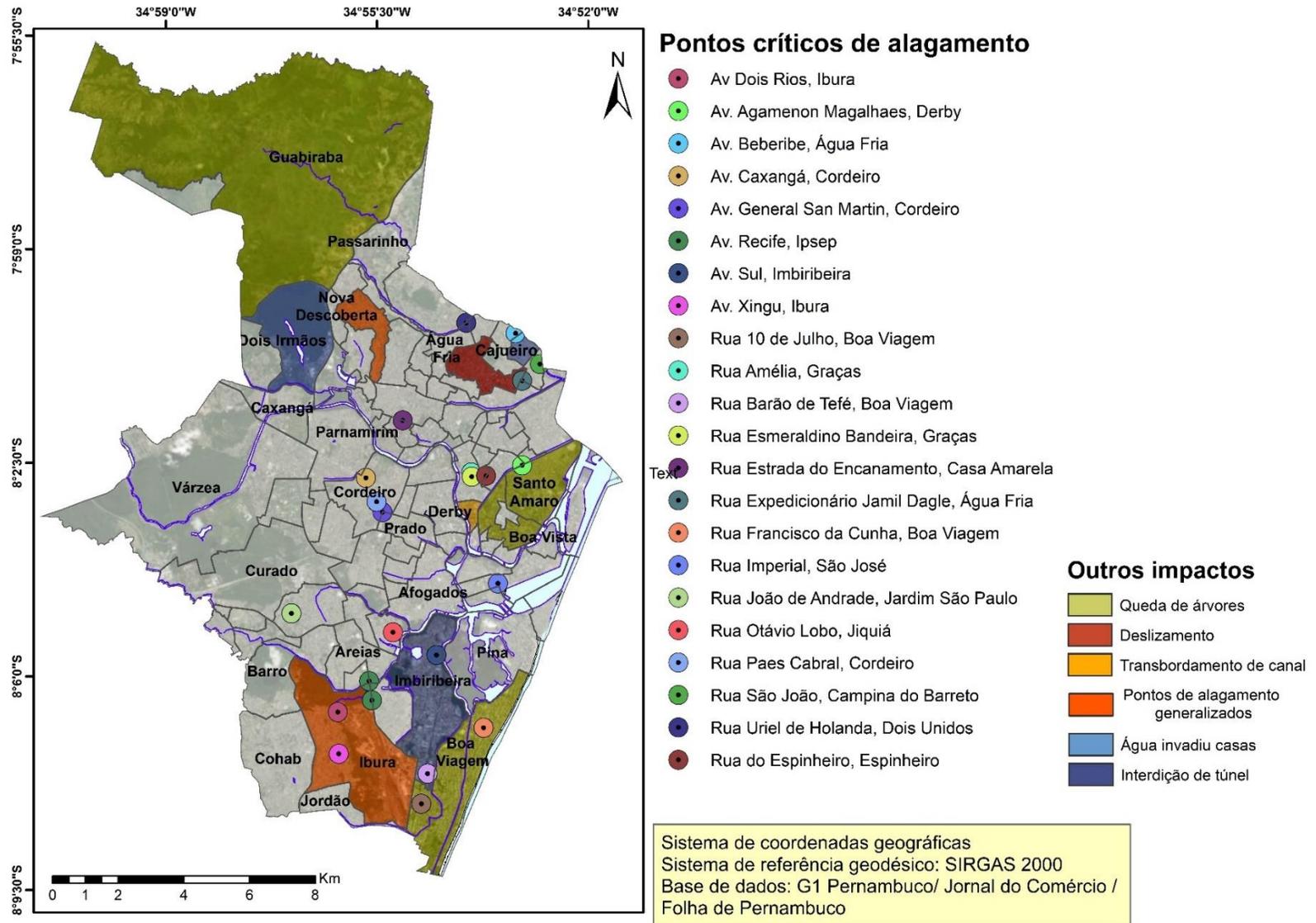
**Figura 45** - Distribuição periódica da precipitação nos postos com os maiores volumes de chuva no dia 13 de maio de 2021



Fonte: CEMADEN (2021). Elaborado pela autora (2023).

Nesse evento, as chuvas se concentraram em maior intensidade na porção sul do município. Entretanto, os impactos afetaram todo o município, e principalmente, impactos referentes a pontos críticos de alagamentos e interdição de vias de circulação de veículos. Segundo dados dos jornais, houve ocorrências de inundações decorrentes de transbordamento de canais, água invadindo casas em alguns bairros como Dois Irmãos e Cajueiro, na zona norte, deslizamento no bairro de Água Fria e muitos pontos com queda de árvores. Nos bairros de Nova Descoberta e Ibura, foram registrados pontos de alagamentos em quase todos os locais (Figura 47).

**Figura 46** - Bairros mais afetados e impactos associados registrados através das reportagens de jornais no dia 13 de maio de 2021



Fonte: G1 Pernambuco (2021); JC Online (2021) e Folha de Pernambuco (2021). Elaborado pela autora (2023).

#### 4.2.3.6. Evento do dia 28 de maio de 2022

O ano de 2022, por apresentar falhas nas séries completas de alguns postos do CEMADEN, não foi incluído nas análises. Além disso, as séries de 2022 apresentam dados de postos pluviométricos com dados inexistentes nos anos anteriores. Todavia, houve a necessidade de entender o evento extremo que ocorreu no mês de maio de 2022, configurado como um dos maiores registros de chuva diária já registrado no município do Recife, além de situação incomum de dias consecutivos de grandes volumes de precipitação.

As imagens das cartas sinóticas (Prancha 6 – B e C) mostram a atuação de uma forte frente fria no sul e sudeste do país, influenciando a ASAS que se encontra mais próxima ao continente, sendo responsável pelo escoamento vindo de leste em direção a costa do Nordeste. Há a existência de um cavado entre a costa do estado de Alagoas até o Rio Grande do Norte. As imagens do satélite goes 16 do canal infravermelho (Prancha 6 – D e E) mostram uma forte atividade convectiva representada pelas temperaturas mais baixas, reforçando a atuação de um DOL. Nota-se que na imagem das 12:00h (Prancha 6 – E) há um aumento do aglomerado de nuvens na direção de leste para oeste, apresentando um maior desenvolvimento vertical à medida que se aproximam da costa e adentram ao continente.

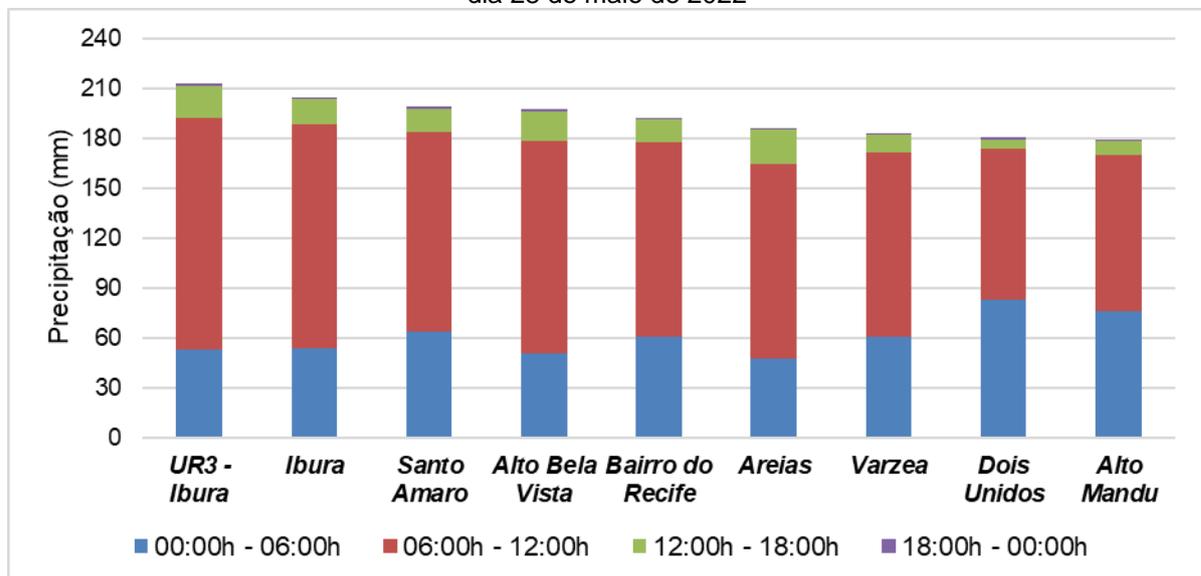
Como foi possível notar a partir das análises sinóticas dos eventos anteriores, o Distúrbio Ondulatório de Leste é o principal sistema em escala regional responsável pelos eventos extremos em Recife. Todavia, sua intensidade é favorecida por elementos climáticos e fatores geográficos regionais/locais, como a temperatura da superfície do mar (SST) em parte da costa litorânea entre os estados da Bahia e Rio Grande do Norte, com características naturais de temperaturas quentes durante todo o ano. No evento de maio de 2022, as temperaturas encontravam-se ainda mais aquecidas do que o comum, cerca de 3°C acima da normalidade. Além disso, as temperaturas do ar e de superfície em Recife, e a configuração da paisagem geográfica, com uma ampla planície circundada por tabuleiros exercem influência na distribuição das chuvas causadas por esse sistema.

As chuvas foram ainda mais extremas (acima de 200 mm) nos postos localizados na zona sul (UR3 Ibura, Alto Bela Vista, Ibura) e leste do Recife (Santo Amaro e Bairro do Recife), embora todo município tenha registrado totais diários volumosos acima de 150 mm (Prancha 6 – A).

As chuvas tiveram uma maior concentração durante o período da manhã, entre às 06:00h e 12:00h, com os postos registrando mais de 100 mm de chuvas em apenas 5 horas, e especialmente, nos postos localizados na porção sul, UR3- Ibura (Cohab) e Alto da Bela Vista (Figura 47). É possível notar nas imagens de satélite que há uma presença densa de nuvens de chuva na área que corresponde ao município do Recife tanto pela madrugada, como no período da tarde. Todavia, na primeira imagem percebe-se que as nuvens são ainda mais densas durante a madrugada/manhã.

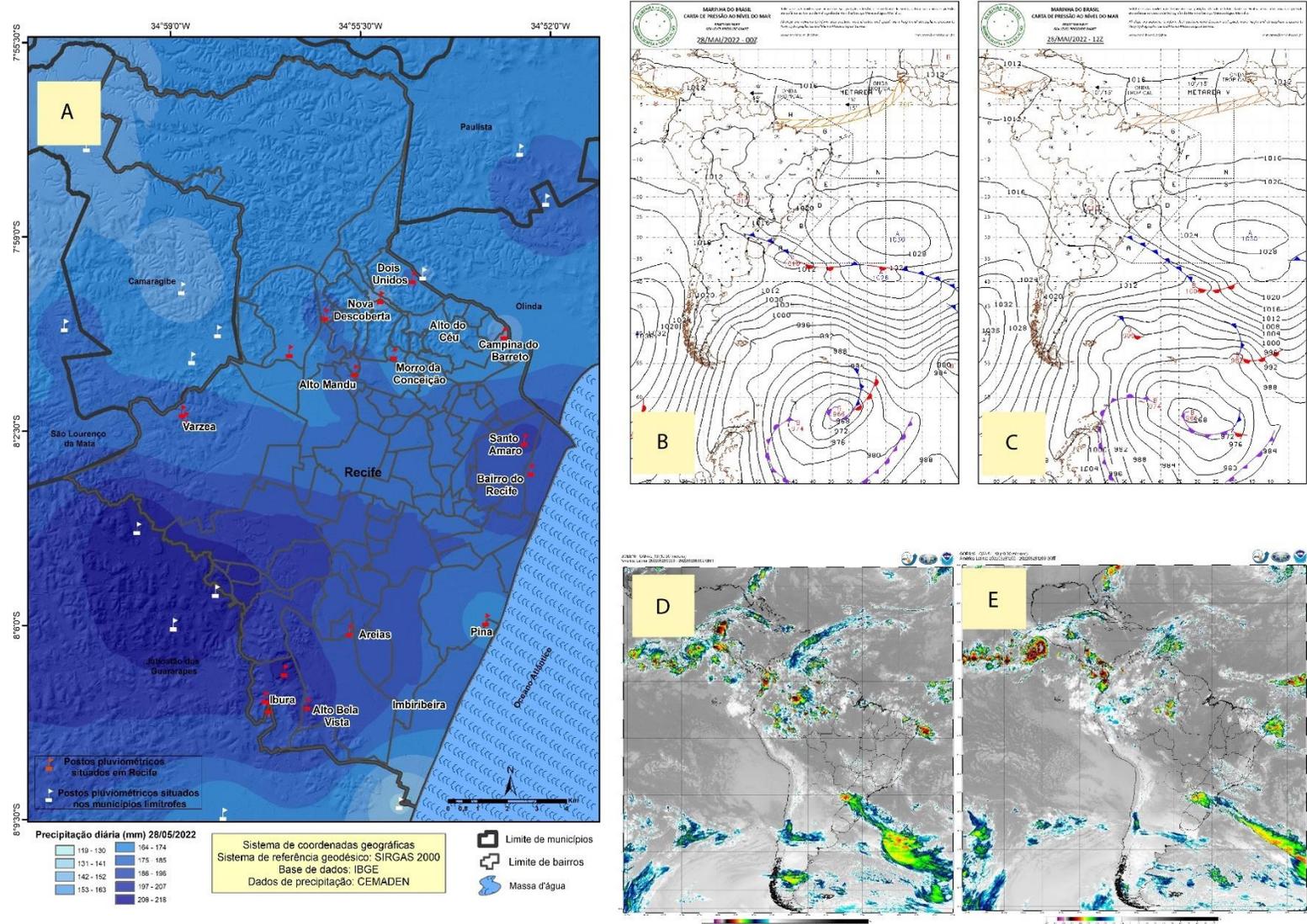
Todos os postos registraram grandes volumes de chuva em poucas horas. O posto de Dois Unidos e Alto do Mandu, localizados na parte norte foram os que registraram maior parte das chuvas durante a madrugada, enquanto os postos localizados na porção sul, registraram maiores totais no período da tarde (Figura 47). Isso pode ter ocorrido devido a área da abrangência do sistema, que como observado nas imagens de satélite, se localiza mais fortemente ao norte do município às 00:00h e aumenta sua área de atuação com o aumento das bordas no período da tarde, atingindo outras áreas da zona sul.

**Figura 47** - Distribuição periódica da precipitação nos postos com os maiores volumes de chuva no dia 28 de maio de 2022



Fonte: CEMADEN (2021). Elaborado pela autora (2023).

**Prancha 6** - Espacialização da precipitação diária em Recife-PE (A); Cartas sinóticas das 00h (B) e 12h (C); Imagens do satélite Goes 16 de 800 HPa das 00h (D) e 12h (E) do dia 28/05/2022



Fonte: CEMADEN, Marinha do Brasil e CPTEC/INPE (2022).

As chuvas que iniciaram no dia 23 de maio de 2022, continuaram e se intensificaram no dia 25, com registros de 100 mm a 150 mm diário nos postos do CEMADEN. Apesar da diminuição nos dias 26 e 27, o DOL se intensificou causando chuvas mais extremas no dia 28. Os mapas da Figura 48 mostram as distribuições espaciais dos acumulados diários de 25/05, e entre os dias 23/05 e 29/05 (7 dias) no município do Recife.

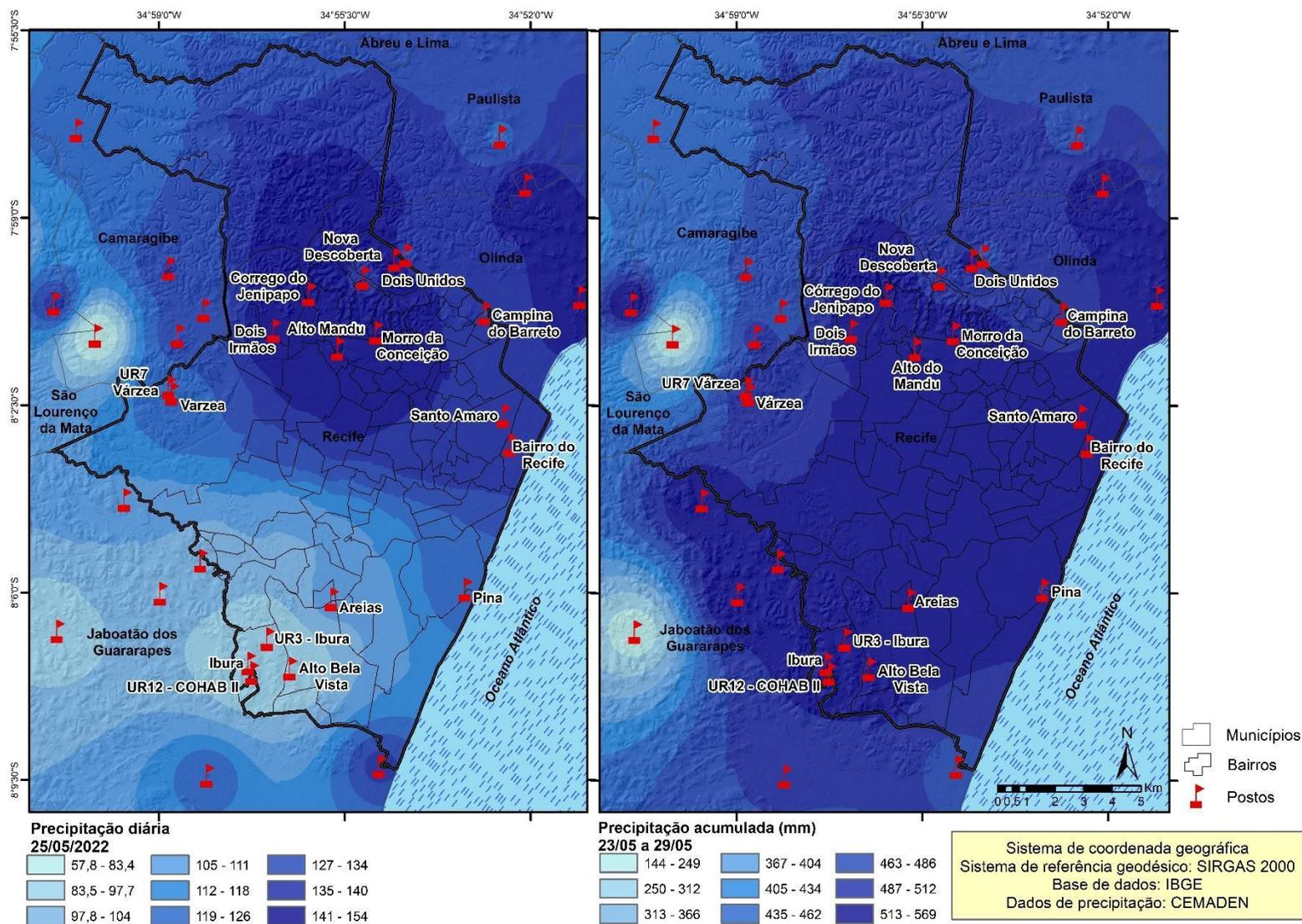
Segundo as análises de Marengo *et al.*, (2023) a respeito do evento ocorrido em Recife tanto no dia 28 de maio, quanto sobre as chuvas dos dias anteriores, é reforçado a atuação dos DOLs. Segundo os autores, no dia 25 de maio a perturbação ocorre com uma velocidade de fase de 10 m/s, enquanto no dia 28, com uma velocidade aproximada de fase de 4,3 m/s (20° de longitude em 6 dias, entre 23 e 28 de maio). Não existe uma constância dessa velocidade já que entre os dias 26 e 27 há uma diminuição, registrando aumento novamente entre 27 e 28. O movimento ascendente é intensificado ao chegar na costa e no município de Recife devido, provavelmente, ao atrito na superfície do continente e a atuação das brisas marítima e terrestre. Os DOLs têm aumento na atividade convectiva à medida que entram em uma região com águas mais quentes, com TSM acima de 28,5 °C (MARENGO *et al.*, 2023).

No dia 25 de maio, as chuvas se concentraram nos postos localizados na zona norte do Recife, e ocorreram em maior parte durante a madrugada e o período da manhã. Isso explica uma maior precipitação nas áreas próximas a encostas e de maior altitude, uma vez que o sistema de DOL intensifica a partir da atividade convectiva associada às massas provenientes dos sistemas de brisa. O mesmo ocorre no dia 28, com chuvas intensas no período da madrugada/manhã.

Foram registrados no mês de maio de 2022 totais mensais acima de 650 mm em todos os postos pluviométricos. O posto do UR3 Ibura foi o que registrou o maior total diário do mês no dia 28, entretanto o posto pluviométrico do Alto do Mandu teve o maior total mensal (797 mm), seguido do posto do Córrego do Jenipapo (787,86mm), Dois Unidos (779,45 mm), Dois Irmãos (778,55 mm) e UR3 Ibura (720 mm).

A comunidade mais afetada foi a de Jardim Monte Verde, localizada no UR3-Ibura. Entre os impactos, muitos óbitos de pessoas de uma mesma família. Entre as vítimas estavam, inclusive, crianças. Diante disso, foi decretado estado de emergência no Recife na noite de sábado do dia 28 de maio.

Figura 48 - Mapas da precipitação diária em 25/05/2022 e da precipitação acumulada dos dias 23/05/2022 a 29/05/2022



Fonte: CEMADEN (2022). Elaborado pela autora (2023).

Diante das fortes chuvas, os impactos foram significativos, principalmente o grande número de óbitos. Segundo dados da Defesa Civil do Recife, entre 2013 e 2021 foram registrados 11 óbitos decorrentes de desastres relacionados às chuvas extremas no município. Mas, segundo dados obtidos do jornal Folha de Pernambuco (2022), somente no evento de maio de 2022, em Recife, foram computadas 49 mortes distribuídas em 9 bairros. O bairro com o maior número de mortes foi Cohab, seguido dos bairros do Barro e Ibura, respectivamente. No bairro da Guabiraba foram 3 mortes, e nos bairros de Tejipló, Casa Amarela, Cajueiro, Dois Irmãos e Sítio dos Pintos, uma morte em cada um deles (Figura 50).

Os locais onde mais choveu, foram os bairros que estão em áreas de tabuleiros ou próximos a sopés de encostas íngremes, suscetíveis a deslizamentos. No bairro da Cohab foram mais de 20 mortos e inúmeros feridos devido aos desabamentos e soterramentos de casas na comunidade de Jardim Monte Verde (Figura 49). Vale ressaltar que os jornais em um episódio de 08/04/1986 já citavam a comunidade como uma das mais impactadas devido às chuvas fortes. Isso mostra que as áreas mais vulneráveis continuam carecendo de atenção no que diz respeito ao planejamento e gestão de riscos aos desastres.

**Figura 49** - Deslizamentos de terra decorrentes das fortes chuvas no município do Recife, comunidade de Jardim Monte Verde no Ibura, em 28 de maio de 2022

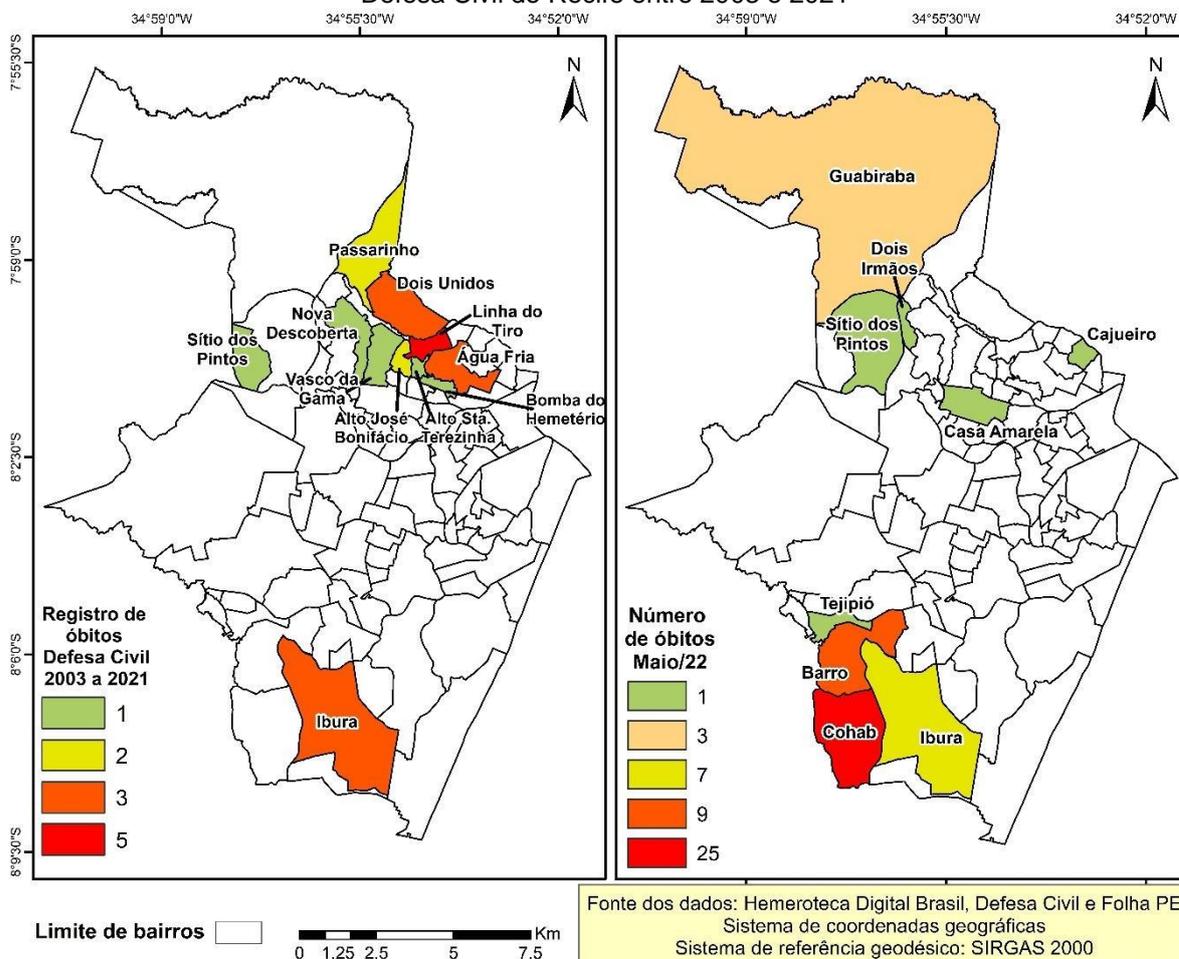


**Fonte:** Radio Jornal (2022) e Folha de Pernambuco (2022).

Os registros de óbitos pela Defesa Civil encontrados no primeiro mapa da Figura 50, relacionados aos óbitos registrados no evento de maio de 2022, evidenciam os locais impactados que se encontram em sua maioria nas áreas de tabuleiros, as quais são impactadas continuamente desde a década de 60, reafirmando que as inundações, os deslizamentos de terra e outros impactos relacionados às chuvas extremas em Recife é um problema histórico.

É importante salientar que, apesar do registro significativo pela Defesa Civil de 118 mortes entre os anos de 1984 e 2002, não foi possível obter informações sobre os locais de ocorrência. Isso reitera o fato de que, os problemas urbanos no que diz respeito aos desastres decorrentes das chuvas extremas, são estruturais, evidenciando a dificuldade de uma gestão eficiente no tocante a um plano de habitação adequada, com ênfase na minimização dos riscos referentes a desastres. Além disso, mostra a falta de investimentos e recursos ao longo do tempo nas gestões do município nesse setor, principalmente nas áreas mais vulneráveis socioeconomicamente.

**Figura 50** - Bairros mais afetados em relação ao número de óbitos registrados no dia 28 de maio de 2022 e comparação entre os bairros mais afetados em relação ao número de óbitos registrados pela Defesa Civil do Recife entre 2003 e 2021



**Fonte:** Folha de Pernambuco (2022) e Defesa Civil do Recife (2022). Elaborado pela autora (2023).

O padrão dos impactos recentes é diferente daqueles registrados em décadas anteriores. A maior concentração de assentamentos precários nos tabuleiros costeiros

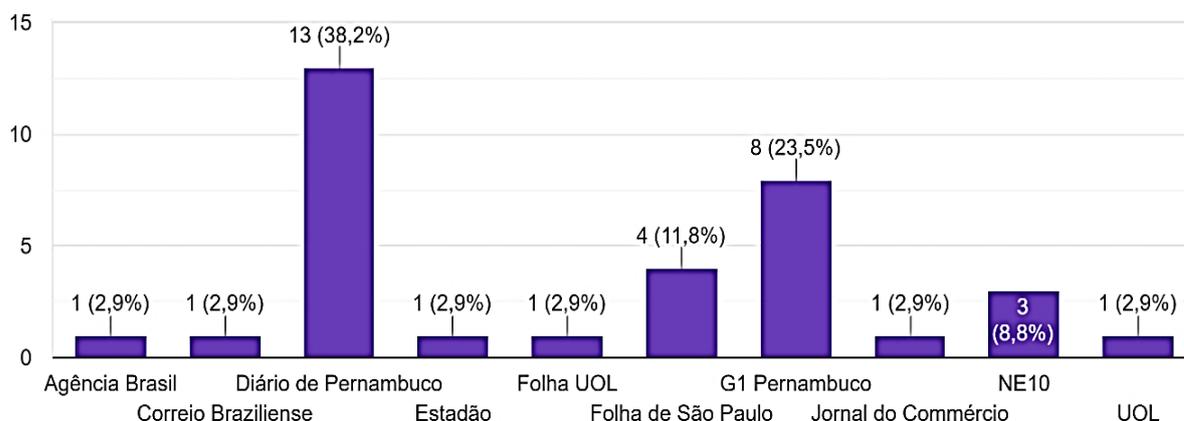
e o maior controle das inundações do Capibaribe estão entre as causas dessas mudanças. Atualmente, uma grande quantidade de óbitos decorrentes de desastres relacionados aos eventos extremos de chuva ocorrem devido a deslizamentos de terra. Em episódios com os da década de 60 e 70, havia registros de óbitos em decorrência dos afogamentos nas inundações dos Rios Capibaribe e Beberibe. De toda maneira, é notório que os mais impactados são as populações com menor poder aquisitivo e em condições precárias de habitação.

#### 4.3. LEVANTAMENTO HISTÓRICO DOS EPISÓDIOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO A PARTIR DO ACERVO DE MÍDIAS DIGITAIS E A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS IMPACTOS NO MUNICÍPIO DO RECIFE

No município do Recife, os impactos dos desastres associados às chuvas que aqui serão denominados de episódios pluviométricos extremos são frequentes. De acordo com registros históricos, esses episódios são datados desde o domínio dos holandeses na década de 1630 e continuam até os dias de hoje. O intuito desse capítulo foi de investigar como ocorreram os episódios pluviais extremos no Recife ao longo do tempo, os impactos e as repercussões no município. Além disso, compreender como esses episódios afetaram diferentes áreas durante os anos, atrelados com as mudanças visíveis na paisagem urbana.

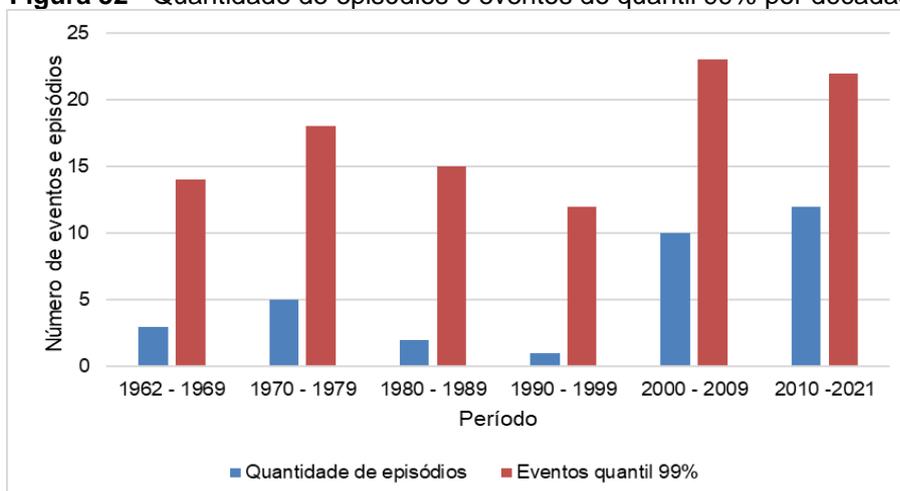
##### **4.3.1. Inventário dos episódios pluviais extremos entre 1962 e 2021**

De acordo com os dados coletados nos jornais da Hemeroteca Digital Brasileira entre 1962 e 1999 e nos jornais Diário de Pernambuco, Jornal do Comércio, Folha de São Paulo, Correio Braziliense, Ne10, UOL, Estadão e Agência Brasil entre 2000 e 2021 (Figura 51), foram encontrados um total de 34 episódios pluviais expressivos no município do Recife. Desse total, 3 episódios foram verificados entre 1962 a 1969, 5 entre 1970 a 1979, 2 entre 1980 a 1989, 1 entre 1990 a 1999, 10 entre 2000 a 2009 e 12 entre os anos de 2010 a 2021.

**Figura 51** - Número de episódios em relação aos jornais

**Fonte:** Elaborado pela autora (2023).

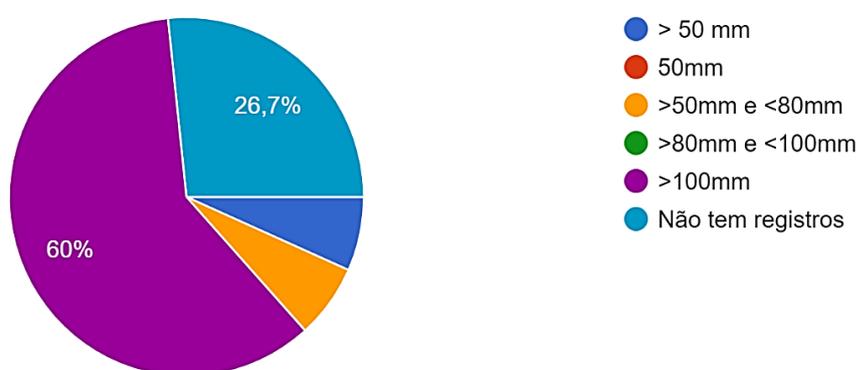
Esses episódios foram mais expressivos por terem uma maior repercussão na mídia diante dos impactos mais significativos (número de óbitos, feridos e desabrigados e outras ocorrências graves). Comparando a quantidade de episódios pluviiais extremos com os eventos do quantil 99% (>92,2 mm) observa-se que há uma maior quantidade de dias com precipitação registrada pelo INMET do que episódios (Figura 52). Entretanto observa-se nos gráficos das Figuras 54 e 55 que os episódios ocorrem com maior expressividade em dias de chuva acumulados, e com totais acentuados acima de 100mm. Outra consideração de extrema importância, é que tanto os episódios quanto os eventos do quantil 99% têm seus maiores registros nas duas últimas décadas, levantando hipóteses de aumento tanto dos dias de chuva acima de 100mm, quanto dos episódios e seus impactos.

**Figura 52** - Quantidade de episódios e eventos do quantil 99% por décadas

**Fonte:** Elaborado pela autora (2023).

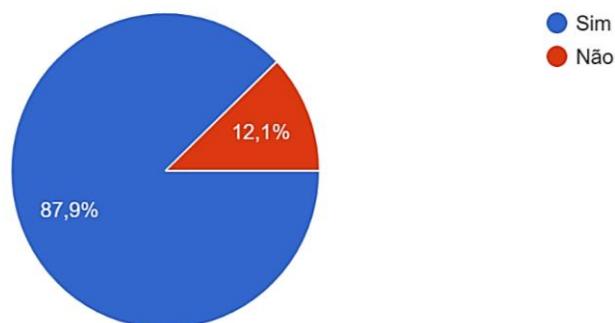
Nos jornais mais antigos, entre 1962 e 1999 não foram encontrados muitos registros dos totais pluviométricos relacionados aos episódios. De toda maneira, as reportagens sem registros foram apenas 26,7% do total, enquanto 60% corresponderam a um total de chuvas acima de 100 mm. As reportagens que tinham registros de chuva entre >50 mm e <80 mm e >50mm foram de apenas 6,7% cada (Figura 53). Isso significa que a frequência de chuvas acima de 100 mm em episódios pluviais extremos em Recife é recorrente.

**Figura 53** - Porcentagem de registros de totais diários pelas reportagens dos jornais



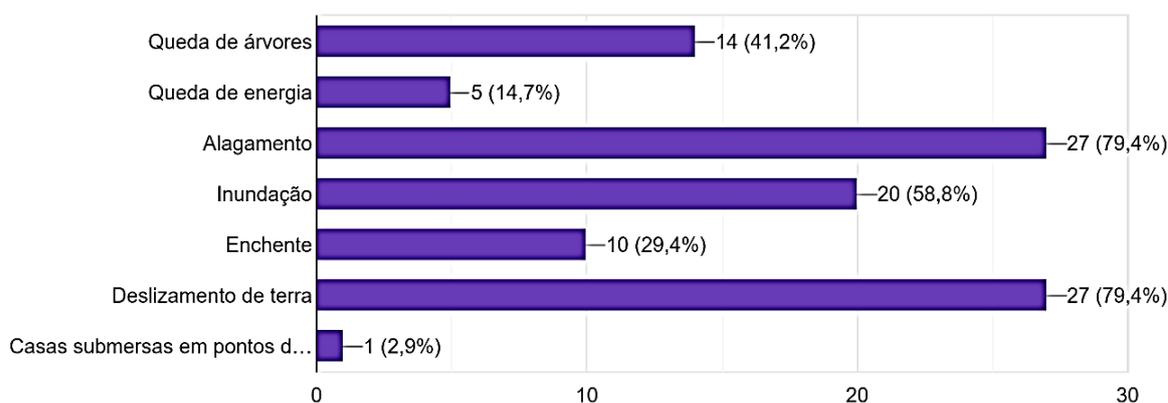
**Fonte:** Elaborado pela autora (2023).

Ressalta-se que 87,9% das reportagens citavam que os episódios estavam relacionados a precipitações acumuladas em dias anteriores à data principal onde ocorreram os principais impactos (Figura 54). Isso explica o fato de os episódios terem ocorrência entre os meses de abril a agosto, período em que a precipitação é constante. Foram encontrados apenas dois episódios extremos fora desse período, um deles no dia 18 de setembro de 2000 e 29 de janeiro de 2016, sendo este último associado a uma atuação conjunta do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis e a Zona de Convergência Intertropical.

**Figura 54** - Porcentagem do total de episódios com registro de precipitação acumulada

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Dentre as principais ocorrências de impactos registradas pelas reportagens nesses episódios, os alagamentos e os deslizamentos de terra têm maior destaque (Figura 55). Entretanto, cabe salientar que durante as décadas de 60 e 70, pouco se falava de ocorrências de deslizamentos, ficando restritas apenas a algumas áreas de tabuleiros da zona norte. As ocorrências de alagamentos e de inundações eram maioria, uma vez que Recife tinha ainda grande parte da população mais vulnerável habitando a planície. Outra questão muito relatada nas reportagens, são as discrepâncias entre a urbanização da cidade e os questionamentos acerca das inundações, uma vez que a partir de uma concepção higienista foram sendo realizadas interferências na rede de drenagem do Recife, responsáveis em grande parte por esses problemas ocorridos no município como é relatado no jornal Diário de Pernambuco do dia 22 de junho de 1986, página 9.

**Figura 55** - Registros de problemas urbanos no município relatados nas reportagens

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Destes 34 episódios, 5 foram selecionados tendo como base a expressividade dos impactos, principalmente o número de óbitos. Ressalta-se que os episódios ocorreram em maior parte em anos padrão de chuva: chuvoso, muito chuvoso e extremamente chuvoso. É importante destacar que a severidade desses episódios se encontram associadas às mudanças inadequadas na rede de drenagem, planejamento inadequado de urbanização da cidade e falta das barragens ao longo dos rios fazendo com que as águas das chuvas em outros municípios chegassem a Recife. Estes episódios encontram-se detalhados no Quadro 6.

**Quadro 6** - Registros históricos relacionados aos episódios mais expressivos em impactos no Recife

<b>Data e manchete</b>	<b>Áreas afetadas</b>	<b>Precipitação (mm) e ano padrão</b>
<p><b>17/06/1966</b>  <i>“70 mil flagelados são problemas mais grave das cheias: mortos sobem a 10”</i>            Fonte da manchete: Diário de Pernambuco</p>	<p>2/3 do Recife completamente inundado. A cidade ficou sem comunicação e intransitável. Uma das enchentes com maiores impactos até então. A enchente atingiu em maior parte os bairros situados nas proximidades do Capibaribe.</p>	<p>Sem registros</p>
<p><b>11/08/1970</b>  <i>“Número oficial de mortos sobe a 84”</i>            Fonte da manchete: Diário de Pernambuco</p>	<p>Os bairros mais atingidos foram Córrego do Euclides, Linha do Tiro, Água Fria, Beberibe, Caixa d’água, Casa Amarela e diversos tabuleiros e córregos. A cidade do Recife ficou ilhada, sem energia e com o tráfego rodoviário prejudicado. Ocorreram 283 desabamentos.</p>	<p>&gt;100mm</p>
<p><b>19/07/1975<sup>1</sup></b>  <i>“É a maior tragédia do século no Recife”</i>            Fonte da manchete: Diário de Pernambuco</p>	<p>Desabamento de casa e morte no Alto da Brasileira e Alto do Deldato, antes pertencentes a Casa Amarela. Duas pessoas morreram afogadas no rio em Dois Irmãos. Foi decretado no dia 17 estado de emergência. Todas as cidades no curso alto e médio da bacia do Capibaribe foram fortemente atingidas, o que intensificou as inundações. A rua Imperial foi um dos pontos mais atingidos. A água atingiu mais de 80% da cidade. Houve relatos de suicídio, como de um mecânico que desesperado com a cheia, deu um tiro na cabeça. Relatos de afogamentos no bairro</p>	<p>&gt;50mm e &lt;80mm</p>

<sup>1</sup>Em 28/05/2022, uma chuva acima de 150mm causou impactos bastante semelhantes aos do mesmo dia em julho de 1975, indicando que, embora tenham sido implementadas intervenções pelo poder público ao longo dessas duas décadas visando mitigar os efeitos das inundações, o Rio Capibaribe mesmo assim voltou a inundar a cidade e os impactos foram ainda mais severos nos tabuleiros.

	da Várzea, Estrada do Arraial, Largo da Encruzilhada e Santo Amaro.	
<b>10/06/1980</b> “ <i>Temporal mata 50 e desabriga 20 mil</i> ”  Fonte da manchete: Diário de Pernambuco	Jornal registra atuação do Distúrbio Ondulatório de Leste. Diante das construções das barragens no Capibaribe, as enchentes passaram a atingir mais os locais situados nas proximidades das margens do Rio Beberibe.	Sem registros
<b>01/08/2000</b> “ <i>Chuvas já mataram 14 no Recife</i> ”  Fonte da manchete: Folha de S. Paulo	Choveu mais de 30h seguidas na região, com registro de pelo menos 14 mortes e mais de mil desabrigadas. Todas as aulas foram suspensas.	>100mm

**Fonte:** Diário de Pernambuco e Folha de São Paulo. Elaborado pela autora (2023).

É possível observar no quadro que as áreas de tabuleiros da zona norte são em maior parte as mais afetadas pelos impactos, embora as áreas ribeirinhas no Rio Capibaribe e Beberibe sofriam fortemente com os impactos das inundações desses rios.

O episódio de 19 de julho de 1975<sup>1</sup> foi um dos mais significativos, culminando em impactos expressivos. Destaca-se que as chuvas iniciaram no dia 17 de julho e continuaram durante os dias seguintes, atenuando os impactos. As manchetes dos jornais traziam outros relatos como “Cheia, angústia e morte no Recife”, “Enchente começou com 7 mortes no grande Recife” e “Interdição das rodovias deixa Recife isolado”. Dias depois, o número de mortos chegava a mais de 100, referentes a desabamentos de casas, afogamentos e até mesmo suicídios.

A persistência dos problemas relacionados às chuvas e à drenagem urbana em Recife, apesar das intervenções ao longo do tempo, como a construção das barragens, destaca-se como um fenômeno histórico e recorrente. Os impactos desses eventos continuam expressivos, evidenciando a necessidade constante de avaliações e medidas estruturais. Importante notar que os jornais analisados apresentam um viés, não notificando muitas vezes bairros e comunidades mais vulneráveis, sendo mais divulgadas em casos mais extremos como de óbitos, o que dificulta análises precisas da distribuição espacial dos impactos.

### **4.3.2. Historicidade dos episódios pluviométricos extremos: causas e repercussões no espaço urbano**

Essa pesquisa se concentrou na busca por episódios extremos de precipitação entre os anos de 1962 e 2021, entretanto os jornais da década de 1970 trouxeram um panorama das maiores enchentes que acometeram um município através de um levantamento do trabalho de uma comissão contratada pelo governo do Estado na época. Segundo eles, as enchentes de 20 de abril de 1924, 31 de julho de 1924, 12 de junho de 1965, 14 de junho de 1966 e 11 de agosto de 1970 foram as mais excepcionais e catastróficas.

A partir de outros estudos, buscando entender a gênese e formação das inundações no Recife foram encontrados alguns padrões:

1. Teriam origem quer na parte média, quer na parte superior da bacia;
2. Foram precedidas de notícias alarmantes vindas da cidade de Limoeiro, ou seja, antes das inundações acometerem Recife, a cidade de Limoeiro já estava um caos;
3. A grandeza do fluxo do rio em Limoeiro domina  $\frac{1}{4}$  da bacia, podendo determinar ou não a existência de inundações no Recife.

Essas informações são do jornal Diário de Pernambuco do ano de 1970, após as inundações severas dos meses de junho e agosto acometerem o município. O que se percebe é que os estudos eram feitos em sua maioria por engenheiros, que não conseguiam destinar um olhar atento a outras causas importantes que estavam atreladas aos problemas das inundações e enchentes dos rios. A partir disso, eram realizados estudos técnicos focados nas obras e não nos impactos humanos e ambientais, além da falta de um estudo das causas históricas.

Outro problema histórico foi a falta de harmonia na vivência entre as populações e os rios. Muito disso, está atrelado a visão higienista caracterizada por meio do sistema em que ocorria a captação e imediato direcionamento das águas pluviais para jusante, em que se verificava o aumento do pico de enchentes nos cursos de água e a redução do tempo de concentração. Essa prática agravava a condição das cidades, dos habitantes e dos corpos d'água, devido às características das soluções parciais que desencadeavam uma série de problemas interdisciplinares (Christofidis, Assumpção e Kligerman, 2019).

Durante essa fase higienista, que afetou vários lugares do Brasil assim como Recife, apenas alguns críticos teciam a urbanização inadequada e a maneira de lidar

com as drenagens da cidade, como um problema grave. Criticavam por exemplo, um plano de dragagem e aterro do Rio Capibaribe nas margens da Rua da Aurora e Cais do Apolo feito em 1963, como intuito de minimizar os impactos (Diário de Pernambuco, 1963). Todavia, os engenheiros e os governantes do período então limitavam-se a destinar o fatídico fim das inundações às barragens. Caberia a elas acabarem com as enchentes e os impactos à população do Recife.

Foi então a partir das inundações de 1966 e 1970 que surgiram os primeiros planos de construções das barragens no Rio Capibaribe. A primeira, chamada de Tapacurá, foi inaugurada em 1973 no município de São Lourenço da Mata, mas já era anunciada antes mesmo desde 1968 (Figura 56), como sendo a esperança do Capibaribe passar a não inundar mais o Recife.

Figura 56 - Manchete anunciando a construção da primeira barragem de Tapacurá



# Capibaribe deixará de inundar o Recife: 1.a barragem

## Ministro do TRE chega para inauguração da sede da Justiça Federal

O ministro Cunha Melo, do Tribunal Federal de Recursos, chegou ontem ao Recife para visitar as sedes inauguradas do Fórum desembargador Neves Filho, na rua da Meda, 47, sede da Justiça Federal de Pernambuco.

A inauguração das novas instalações da Justiça Federal...

## Prolongaram-se até a noite trabalhos da III Conferência Nacional dos Advogados

A III Conferência Nacional da Ordem dos Advogados...

por Norberto e Sousa, Lorrival Vilanova e Carlos de Arago Lima.

da Conferência que se reuniu, duas vezes, quinta-feira para a aprovação do documento final do trabalho.

LUIS MARIN CHEQUE

**EFICIÊNCIA DA SUDENE**  
No ato de assinatura do contrato de construção da barragem de Tapacurá, afirmou o governador Nilo Coelho (radical) breve discurso, avaliando a situação da Sudepe nesta região, com destaque especial o trabalho desenvolvido na época das enchentes do Recife, quando a cidade se viu inundada, dizendo milicianos de famílias desoladas, como um desafio aos planos assistenciais do governo.  
Disse, mais adiante, que o sacramento sempre foi uma problemática para todos os governos, especialmente em Pernambuco e de modo especial o Recife, onde dois terços das glebas estão desocupadas. E, Caracas, pela ausência de um serviço de abastecimento digno à altura de seu progresso.  
O governador Nilo Coelho encerrou seu discurso elogiando a esportividade brasileira e transmitindo em nome do governo do Estado mensagens de confiança aos dirigentes de entidades ali representadas, em particular ao ministro do Interior, superintendente de Sudepe e diretor do DNDOS, de ser, em breve tempo, sanado através problema que afeta a tranquilidade da população pernambucana.

## Deve haver equívoco total sobre o que disse o Papa, diz Hélder

"Deve haver, no caso, equívoco total. Ninguém mais do que o Papa tem obrigação de fazer sua profissão de fé, em manter sua Igreja. Diz que a Igreja marcha para a auto-destruição e afirmação indissociável nos lábios de um Santo Pontífice".

Esta declaração foi formulada, ontem, por dom Hélder Câmara, a propósito das palavras atribuídas ao papa Paulo VI, de que a Igreja marcha para a auto-destruição quando o Sumo Pontífice proferiu discurso no Seminário Lombardo, na Itália.

**AFRICA**  
O arcebispo de Uílanda e Recife expressou, domingo, da África, onde profetiza na Universalidade do VI Congresso de Juristas Cristãos, pronunciado pela "Pax Romana", pronunciado por Dom Hélder Câmara quando se reuniu em dois dias, com o presidente do Senegal, Léopold Sédar Senghor. Um desses encontros realizados em ambiente reservado, a pedido do próprio estadista africano e protagonizado por muitos

**RELEVÂNCIA**  
Estatuístas dom Hélder Câmara que grande número de juristas africanos participaram do Congresso, embora o objetivo fosse dirigido a cristãos. O que mais sensibilizou a metrópole foi a abertura dos juristas africanos para o diálogo e a sua visão ampla dos problemas do terceiro mundo.  
"No Senegal — frisou — não há, com alegria, a situação das minorias africanas com os irmãos americanos. Foi uma agradável surpresa

se e hospitais. Minha viagem a Dakar foi totalmente financiada pela "Pax Romana", organização internacional de juristas cristãos, que promoveu o Congresso Mundial de Juristas Cristãos. A próxima viagem aos Países Baixos, para encerramento do Congresso Internacional sobre Direitos Humanos, em Nova York, de 25 a 28 de agosto próximo, será financiada por bispos norte-americanos".  
O arcebispo recebeu, nessa ocasião, os senhores Unidos, o título de "donor honoris causa" pela Universidade de Saint Louis, no Missouri.  
**FALBEN**  
Dom Hélder Câmara considerou as declarações de solidariedade de dom José Lantini aos padres missionários, afirmando que "devemos agora, esperar e desmentir dos acontecimentos".  
Quando a possível solidariedade da "Ação, Justiça e Paz" aos três países, franceses, americanos de subversão e que se acham na iminência de ser expulsos do Brasil, "A AIC e realiza, Academia de acontecimentos

Fonte: Diário de Pernambuco (1968).

Com os impactos das enchentes de 1966 e 1970 (Figura 57) que deixou mais de 100 mil desabrigados e mais de 100 mortes, tinha-se a esperança de que as inundações não voltariam mais. Contudo, uma grande inundação em 1975, conhecida como uma das maiores da história da cidade atingiu o município deixando inúmeros mortos, feridos e desabrigados, além da cidade ter ficado isolada e sem nenhum acesso, visto que aproximadamente 80% do território ficou debaixo d'água. Relatos do jornal Diário de Pernambuco de 18 de julho de 1975 utiliza o termo "psicose das cheias", se referindo ao estado em que se encontrava a população. Duas informações importantes encontradas sobre esse evento é que mesmo toda a população da cidade

tendo sido afetada, do mais pobre ao mais rico, sofreram mais os que residiam em condições precárias nas margens do Rio Beberibe e Capibaribe.

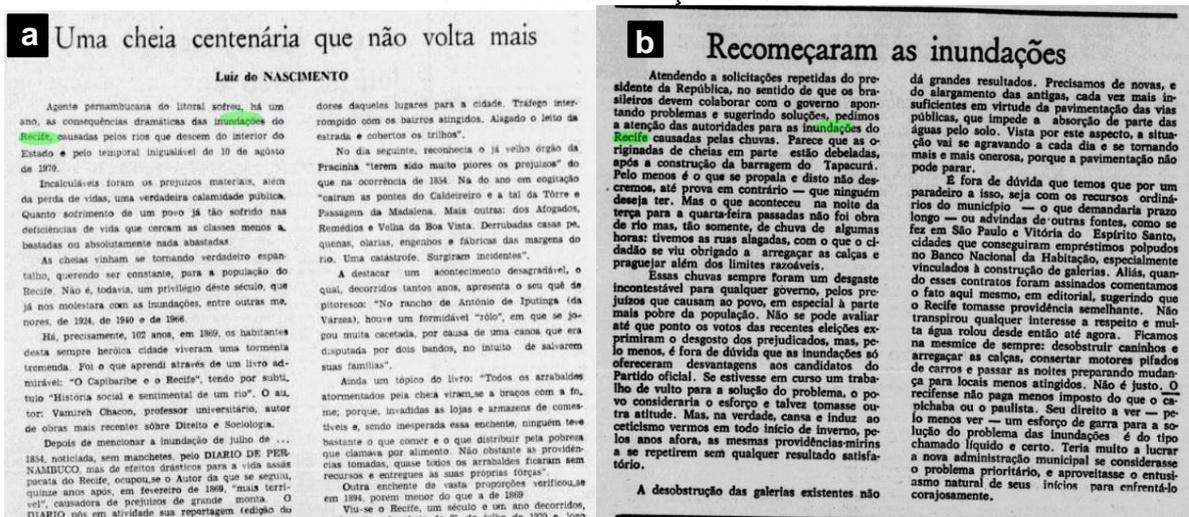
**Figura 57** - Imagens dos impactos associados às chuvas em 1970 (a) bairro de Beberibe e (b) local não citado



Fonte: Diário de Pernambuco (1970).

Outras reportagens citavam a grande friagem que concomitantemente, atingia o Sul do Brasil, com geadas, neve histórica e recordes de frio, elencando um padrão parecido com o que se encontrava Recife e ao mesmo tempo no sul do Brasil, em maio de 2022 (Diário de Pernambuco, 1975). Com a barragem de Tapacurá construída, criou-se a ideia de que as inundações cessariam, como é possível observar na coluna publicada por Luiz do Nascimento no jornal Diário de Pernambuco em 12 de agosto de 1970 (Figura 58 (a)). A falsa esperança acabou com as inundações de 1975, antes mesmo da maior em julho, quando em 6 de março de 1975 uma nota foi publicada no jornal com a manchete “Recomeçaram as inundações” (Figura 58 (b)).

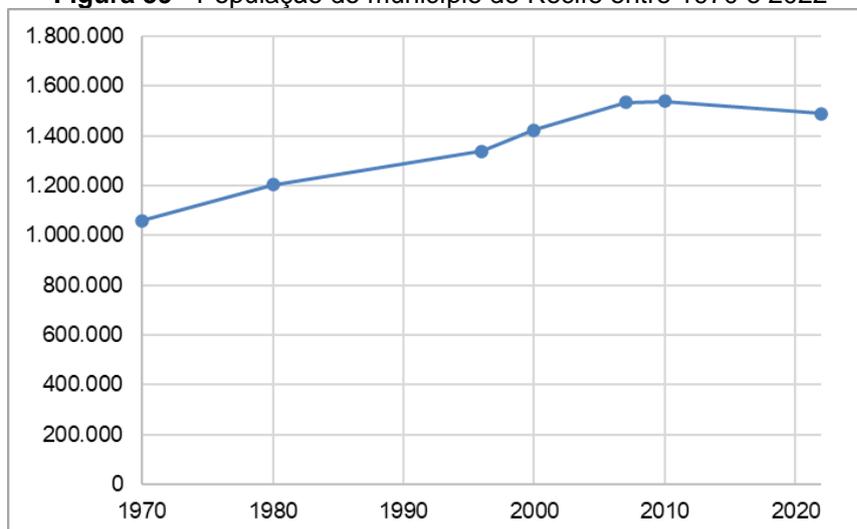
**Figura 58** - (a) Manchete do jornal Diário de Pernambuco em 1970; (b) Manchete do jornal Diário de Pernambuco em março de 1975



Fonte: Diário de Pernambuco (1970; 1975).

Enquanto isso, a cidade do Recife crescia e se urbanizava em ritmo acelerado. Dados comparativos do IBGE dos recenseamentos (IBGE Cidades, 2023) mostram que em 1970 a população já era maior que 1.000.000 de habitantes (Figura 59). A associação entre os impactos significativos das inundações e o rápido adensamento populacional e a intensificação do processo de urbanização deveria ser um fator considerado na continuidade do planejamento da cidade. Em contrapartida, continuaram os aterros, as expressivas impermeabilizações do solo devido à construção de edificações de grande porte, principalmente pelas classes mais abastadas, e pavimentação de áreas anteriormente permeáveis.

**Figura 59** - População do município de Recife entre 1970 e 2022



Fonte: IBGE Cidades (2023).



principal de promover o desenvolvimento urbano, especialmente no que diz respeito à habitação popular. No contexto do Recife, as COHABs estiveram envolvidas na implementação de programas habitacionais visando proporcionar moradia digna para a população de baixa renda. Entretanto, com a elevação do valor da terra na planície, essas habitações foram construídas em grande parte nas áreas de tabuleiros (dito isto, há um bairro chamado Cohab em área de tabuleiro na zona sul do Recife).

Entretanto, embora a ocupação das habitações em áreas de tabuleiro, como a Vila da Cohab, tenha sido vista como uma esperança para a população afetada pelas inundações, é crucial ressaltar os riscos associados a essa prática. A manchete do Diário de Pernambuco de 2 de maio de 1977, intitulada "Flagelados invadem Vila da Cohab ainda não construída", ilustra a urgência das famílias em busca de abrigo (Figura 61).

A invasão dessas áreas em construção representa não apenas a necessidade premente por moradia, mas também evidencia a falta de alternativas seguras. Todavia, é importante destacar que, na ânsia por abrigo imediato, as comunidades corriam o risco de ocupar espaços inacabados e potencialmente inadequados para habitação. A ausência de infraestrutura básica, somada à instabilidade das construções em andamento, poderia expor os ocupantes a perigos significativos, incluindo deslizamentos de terra e desabamentos.

Por conseguinte, a década de 1980 foi também marcada por grandes episódios pluviais que deixaram marcas profundas no Recife. Em 11 de junho de 1980 e 23 de março de 1986, o município testemunhou grandes episódios de inundações e deslizamento de terra que, comparados aos anteriores, atingiram de maneira ainda mais severa as áreas de tabuleiros e ribeirinhas (Diário de Pernambuco, 1980; 1986). Esses eventos ressaltaram a vulnerabilidade das comunidades situadas em terrenos mais elevados, demonstrando que as soluções implementadas até então não eram completamente eficazes.

Figura 61 - Manchete do jornal Diário de Pernambuco de 2 de maio de 1977



Fonte: Diário de Pernambuco (1977).

Com a manchete de "Temporal mata 50 e desabriga 20 mil" e "Soterramentos, a causa maior de óbitos", o jornal Diário de Pernambuco traz as repercussões do episódio de 11 de junho de 1980, além das imagens dos deslizamento de barreiras (Figura 62). Além de elencar que após as construções das barragens de contenção do Capibaribe, as enchentes passaram a atingir mais fortemente o Beberibe, destaca também os impactos aumentando ainda mais nas áreas de tabuleiros, visto que houve migração significativa para essas áreas sem um plano de habitação eficiente. Sendo assim, os bairros mais afetados foram Casa Amarela, Água Fria, Cohab, e áreas ribeirinhas nos bairros do Cordeiro e Iputinga. Ressalta-se que a partir desse episódio, as comunidades do bairro da Cohab são frequentemente citadas em casos de deslizamento de terra.

**Figura 62** - Deslizamento de barreira atinge casa no episódio de 11 de junho de 1980



**Fonte:** Diário de Pernambuco (1980).

Posterior à década de 80, a ocorrência de episódios pluviais extremos persistiu no município do Recife, assumindo contornos mais desafiadores. O aumento significativo do valor da terra na planície conduziu a uma expansão das construções em áreas de tabuleiros, já que estas se tornaram uma alternativa mais acessível para a habitação populacional. Esse fenômeno, porém, trouxe consigo uma nova dinâmica de riscos, uma vez que as encostas, antes pouco habitadas, passaram a abrigar uma parcela expressiva da população.

Nos últimos anos, como foi observado anteriormente, nota-se uma recorrência mais intensa e frequente de eventos e episódios climáticos extremos. As inundações e os deslizamentos de terra não apenas persistem, mas sua incidência aumentou, afetando de maneira mais acentuada as populações mais vulneráveis. Essa vulnerabilidade é agravada não apenas pela localização geográfica, mas também pelas condições socioeconômicas das comunidades situadas em áreas de tabuleiros e nas proximidades das margens dos rios.

Na manchete do episódio de junho de 1980, há um destaque ressaltando que os impactos menos severos atingiram apenas os bairros mais nobres, como Boa Viagem, citando em sua manchete que a “Zona Sul, além de rica é mais protegida” (Figura 63). Esse destaque na manchete do episódio de junho de 1980 evidencia a disparidade socioeconômica na exposição aos impactos decorrentes de episódios

pluviais extremos. A constatação de que os bairros mais nobres, como Boa Viagem, foram menos severamente afetados ressalta a existência de uma proteção desigual diante dos eventos climáticos extremos. A expressão "Zona Sul, além de rica é mais protegida" sugere não apenas uma diferenciação na infraestrutura de proteção, mas também coloca em destaque a interligação entre condições econômicas e resiliência frente às adversidades climáticas.

Figura 63 - Manchete do Diário de Pernambuco em 11 de junho de 1980

**Zona Sul, além de rica é mais protegida**

Nas zonas Sul e Oeste, as chuvas não causaram maiores danos. "Muitas ruas alagadas — comentava d. Maria de Jesus, residente no Canal de Setúbal — mas isso é muito natural aqui. Basta chover um pouquinho mais".

Em Jardim São Paulo, a água atingiu em maior escala as ruas Bragança e Queiluz. O sr. Milton Monteiro Silva, residente no local e funcionário do Condepe, adiantou que, "naquelas redondezas, há oito anos não acontecia uma inundação tão grande. Acho que tudo isso é por causa de umas boeiras que colocaram nesse trecho da BR-101 (e delimitada, com o diâmetro de ar, uns 800 metros da estrada), ali, depois de viaduto. A tubulação é muito estreita, não aguenta o volume da enxurrada. Deveriam ter construído uma pequena ponte isto sim".

Na Vila Real, nos três dias...

Como as inundações são frequentes no local, ninguém lá espera por tempo ruim. E a mobilização foi geral.

Na Rua Ana Pires Lustosa, nas proximidades da Vila Real, a água chegou a mais de um metro. Pela manhã, todos estavam na calçada, tentando aproveitar o que sobrou do aguaceiro.

Em Boa Viagem, a cheia apenas atingiu as áreas mais baixas especialmente as situadas nos arredores do Canal de Setúbal. No mais, o volume da água fez os estragos costumeiros, mas sem que os prejuízos tenham ultrapassado "a conta de sempre", segundo expressão de Augusto Jorge dos Santos, residente na Rua dequinhinho.

O bairro da Mustardinha, outra área vulnerável aos alagamentos, sofreu bastante as consequências da enchente. A Avenida Manoel Gonçalves da Luz foi a mais afetada. A água chegou a quase um metro, pelos. Só há correria mesmo quando a cheia é braba, como as de 86, 70 e 75".

A Avenida San Martin também recebeu muita água. Em alguns locais, a inundação chegou a marca de 40 centímetros. Algumas pessoas juntaram os trecos e se mudaram para as residências de parentes. A maioria, entretanto, permaneceu no local, usando de todos os meios para evitar a perda de seus bens. Vários moradores ainda possuem os giras das enchentes passadas e assim conseguiram suspender os móveis antes da invasão da enxurrada.

Para espanto de muitos, a água acumulada na Casanga, a partir das 21 horas do dia 9, escoou-se logo às primeiras horas de ontem. Assim mesmo, o maior volume acumulou-se ao longo da avenida, espalhando-se em pequena quantidade por algumas transversais.

**Quadro negro da miséria**

Duas galinhas, que mais pareciam pintos molhados, dezesseis crianças descontradas, brincando na água com os cachorros, móveis baratos espalhados na Escola Maciel Pinheiro, na Torre, onde 1.500 desabrigados procuravam acomodação.

Trezinhos Salvador de Oliveira, cinco filhos, e que reside na Vila de Apuleio, na Torre, chorava muito com a perda dos móveis e utensílios domésticos levados pelas águas do Rio Capibaribe. Ela, o marido e dois filhos estavam abrigados na Escola Maciel Pinheiro, com fome e frio, procurando providências do Governo.

Para Maria das Dores dos Santos, seis filhos, a salvação da Vila de Apuleio e o padre Romeu, "incansável" distribuidor de alimentos e remédios. Mas o orgão assistencial não havia adquirido mantimentos, até as 15 horas de ontem, muito menos equipamentos necessários — fogão, colchões, cama, etc. — para minorar o sofrimento das vítimas da enchente.

**PMR ajuda as vítimas**

Todas as providências foram tomadas pela Prefeitura do Recife, no sentido de atender as vítimas das fortes chuvas que atingiram a capital pernambucana, ontem. Pela manhã, o prefeito, em companhia de autoridades...

Três assistentes sociais da Secretaria do Trabalho, a serviço da Codecepe, realizaram o levantamento dos desabrigados, objetivando distribuir alimentos e remédios. Mas o orgão assistencial não havia adquirido mantimentos, até as 15 horas de ontem, muito menos equipamentos necessários — fogão, colchões, cama, etc. — para minorar o sofrimento das vítimas da enchente.

**PMR ajuda as vítimas**

Todas as providências foram tomadas pela Prefeitura do Recife, no sentido de atender as vítimas das fortes chuvas que atingiram a capital pernambucana, ontem. Pela manhã, o prefeito, em companhia de autoridades...

No Jardim São Paulo, as águas atingiram...

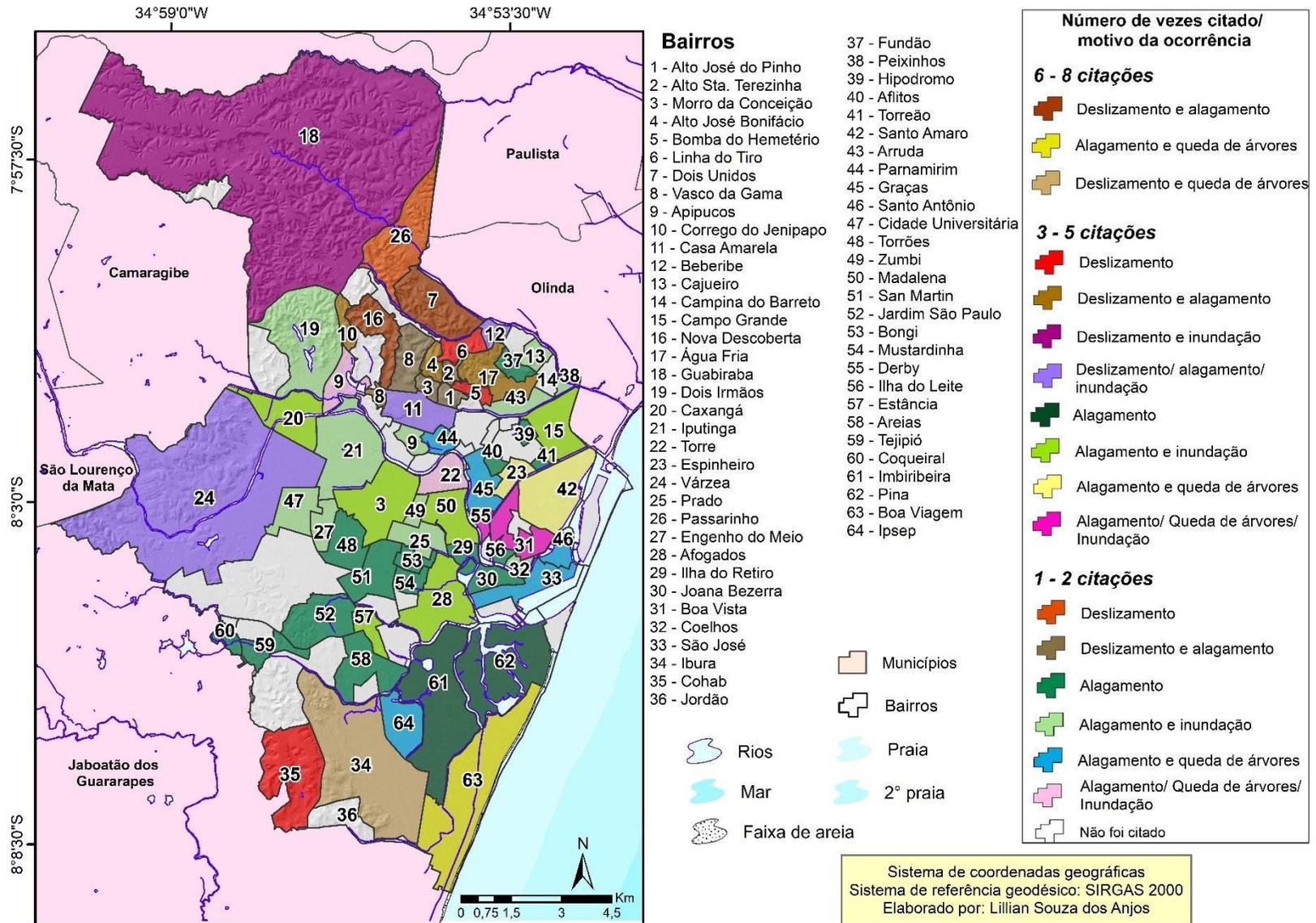


Fonte: Diário de Pernambuco (1980).

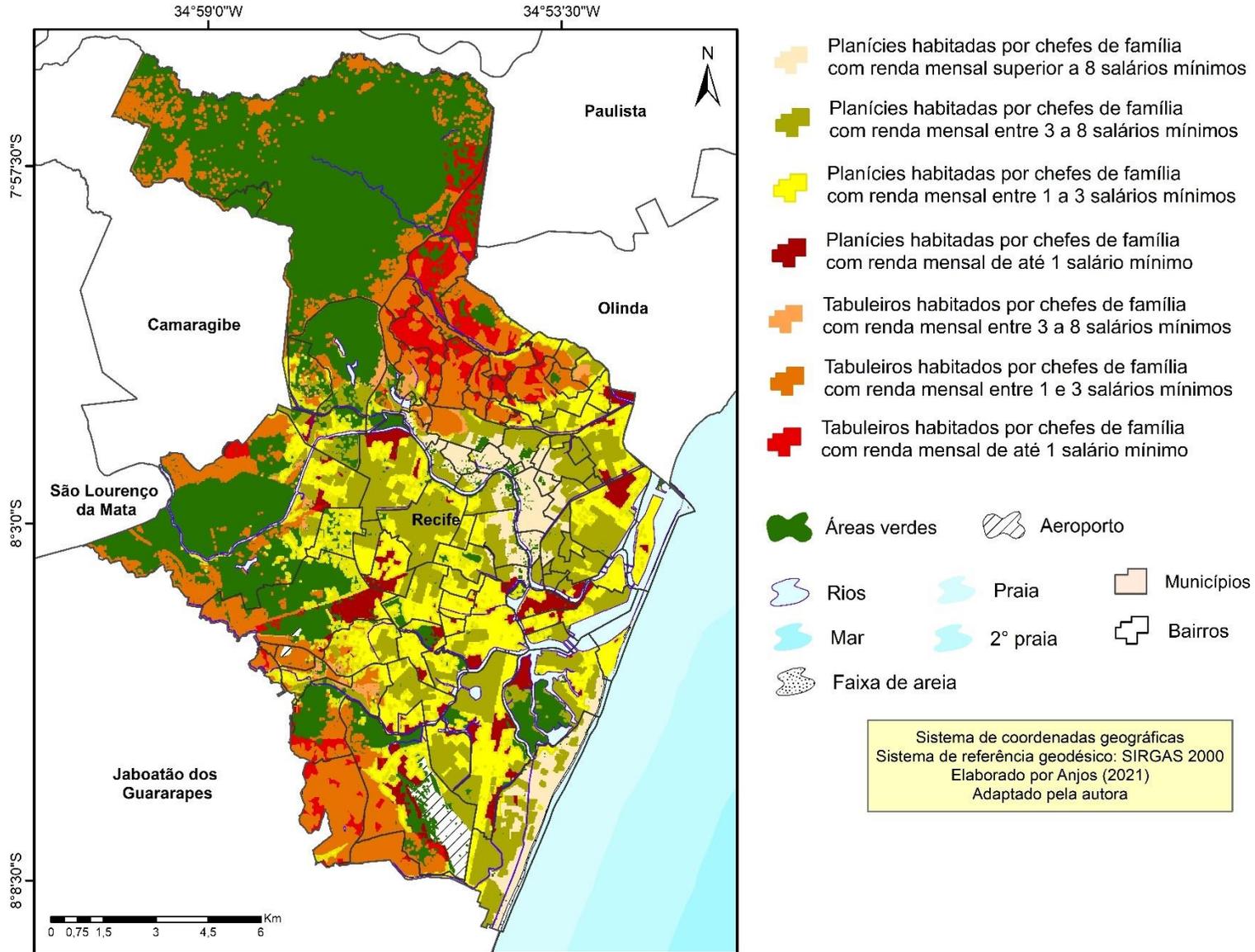
Diante dessa disparidade socioeconômica evidenciada nas manchetes históricas, a presente pesquisa buscou ir além das narrativas superficiais, adotando uma abordagem regional para compreender as áreas mencionadas nas reportagens e suas correspondentes ocorrências de impactos. O objetivo primordial foi mapear e contextualizar geograficamente as regiões mais impactadas, procurando entender não apenas a extensão espacial, mas também as características específicas que as tornam mais propensas a eventos severos decorrentes de chuvas intensas.

Sendo assim, o mapa da Figura 64 traz os locais mais impactados pelas chuvas extremas, entre 1965 e 2021, a partir das reportagens dos jornais. A partir da associação com o mapa das unidades geomorfológicas associadas ao perfil de renda do chefe familiar (Figura 65) é possível perceber que as ocorrências com maior grau de severidade, como os deslizamentos de terra estão nos bairros localizados em tabuleiros habitados por chefes de família com renda média de até 1 salário-mínimo.

**Figura 64 - Descrição dos impactos e tipo de ocorrência por bairros no município do Recife entre 1962 e 2021**



**Figura 65** - Unidades geomorfológicas orientadas de acordo com o perfil da renda do chefe familiar no município de Recife, destacando os corpos hídricos



Os bairros mais citados como tendo a ocorrência de deslizamentos, também são acometidos por alagamentos, como por exemplo os bairros de Nova Descoberta e Dois Unidos (Figura 64). Outros bairros são Cohab, Linha do Tiro, Passarinho e Bomba do Hemetério, citados devido a ocorrências de deslizamentos. Como é possível notar no mapa da Figura 65, esses bairros possuem uma renda muito baixa, em condições de alta vulnerabilidade. Nas áreas de planície habitadas por chefes familiares com renda mensal média superior a 8 salários-mínimos há poucas ocorrências de impactos severos, e destaca-se que estes se situam nas áreas do bairro mais próximas às margens dos rios. Assim como em outras capitais do Brasil, Recife possui um elevado número de habitantes em áreas de aglomerados subnormais e estas se encontram presentes em áreas de habitação irregular em bairros nobres como Boa Viagem e Torre.

Essa distribuição irregular de áreas de risco destaca a complexidade do cenário urbano recifense e ressalta a necessidade de abordagens integradas para enfrentar as disparidades socioambientais na cidade. Existem áreas vulneráveis em comunidades dos bairros como o da Várzea, em que há ocorrência de impactos de deslizamentos, inundações e alagamentos (Figura 64). As inundações atingem as comunidades nas proximidades do Rio Capibaribe, como a Vila Arraes, que com a inundação do Rio Capibaribe em maio de 2022 foi fortemente afetada. Por também ter áreas habitadas nas proximidades das encostas, há também a ocorrência de deslizamentos.

Outro destaque se dá aos impactos que acometem as áreas de tabuleiros da zona sul do Recife. Habitadas mais recentemente, após as enchentes de 1977, as áreas do bairro da Cohab são frequentemente impactadas. Uma das comunidades mais atingidas é a de Jardim Monte Verde, situada bem próximo à divisa com o município de Jaboatão, o que dificulta o acesso dos investimentos por parte dos Governos. Situada em área de tabuleiros habitados por chefes de família com renda mensal de até 1 salário-mínimo, essa comunidade tem alta vulnerabilidade. No episódio de 28 de maio de 2022 foi a área mais atingida pelos impactos das chuvas, registrando a morte de mais de 30 pessoas (Figura 66).

**Figura 66** - Manchete do Jornal do Comércio destacando os impactos de uma das maiores tragédias já vivenciadas em Recife em 2022

JORNAL DIGITAL

## CHUVAS EM PERNAMBUCO: tragédia em 2022 supera cheia de 1975 em número de mortos

O Estado ultrapassou o número de 104 pessoas que morreram nas cheias de 1975, quando a cidade do Recife ficou submersa

Cadastrado por  
**Katarina Moraes**

Publicado em 31/05/2022 às 16:17 | Atualizado em 31/05/2022 às 21:13

---

Jardim Monte Verde fica entre Recife e Jaboatão, mas comunidade reclama que nunca teve atenção de nenhuma das prefeituras. A capitl foi a que mais registrou mortes, em quase sua totalidade por deslizamentos de barreiras.

FOTO: DIEGO NIGRO / AFP

**Fonte:** Jornal do Comércio (2022).

A associação evidenciada entre vulnerabilidade socioeconômica e a incidência de impactos climáticos severos reforça a necessidade de abordagens integradas para enfrentar os desafios de eventos de chuvas extremas em Recife. A historicidade dos episódios pluviais extremos ao longo das décadas não apenas delinea os padrões de vulnerabilidade já existentes, mas também destaca a urgência de medidas eficazes. Diante desse panorama, é essencial compreender que a vulnerabilidade não é uma condição estática, mas sim um fenômeno dinâmico que pode evoluir ao longo do tempo (Diniz e Pessoa, 2022).

Portanto, a resiliência da cidade perante eventos climáticos extremos requer ações que vão além de respostas imediatas, incorporando uma visão de longo prazo, como aponta Souza (2011). Iniciativas que promovam o fortalecimento da infraestrutura urbana, a implementação de sistemas de alerta antecipado e o

desenvolvimento de planos de gestão de riscos são fundamentais. Além disso, é crucial considerar a participação ativa das comunidades locais na construção de soluções resilientes, levando em conta seus conhecimentos tradicionais e experiências cotidianas, como aponta Silva (2023).

Apesar de uma espacialização mais rústica dos impactos, uma vez que através das reportagens não é possível identificar com precisão espacial os locais afetados, entender de maneira integrada as causas e os impactos associados às chuvas em Recife auxilia para a formulação de estratégias que abordem não apenas os impactos imediatos, mas também as raízes estruturais da vulnerabilidade. Investir em medidas de adaptação urbana, como o ordenamento territorial, o controle do uso do solo e a promoção de práticas sustentáveis, é essencial para criar cidades mais resilientes a eventos climáticos extremos. Além disso, a integração de políticas públicas que considerem a justiça socioambiental e a equidade é vital para garantir que as soluções adotadas não perpetuem as desigualdades existentes.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise aprofundada dos dados pluviométricos em Recife, abrangendo o período de 1962 a 2021, proporcionou análises importantes sobre as características e possíveis tendências no regime de chuvas do município. A aplicação da técnica dos quantis evidenciou uma caracterização dos anos padrão variada ao longo dos anos, destacando a presença de 8 anos considerados muito secos, 11 secos, 9 normais, 9 chuvosos, 12 muito chuvosos e 11 extremamente chuvosos.

Ao desdobrar as análises para o âmbito mensal, observou-se que as maiores médias de chuva ocorreram entre março e agosto, destacando-se os meses de abril, maio, junho e julho. O mês de junho, em particular, registrou a maior média mensal de 381,80 mm. Entretanto, é relevante notar que, em anos muito chuvosos ou extremamente chuvosos, eventos extremos diários podem resultar em precipitações que ultrapassam as médias esperadas, como evidenciado no notável caso de maio de 2011, que registrou um total mensal acima de 700 mm.

A análise da série temporal diária da estação do INMET através dos índices do *Rclimdex* revelou algumas tendências e peculiaridades. Enquanto a maioria dos índices climáticos não apresentou tendências significativas, o Índice Simples de Intensidade Diária (SDII) mostrou uma significância estatística média. No entanto, é crucial interpretar esses resultados com cautela, considerando a aleatoriedade dos dados na série temporal. Outliers mensais e anuais foram identificados, destacando eventos excepcionais, como o registrado em 11/08/1970 com 335,8 mm.

A aplicação da técnica dos quantis nos dados diários da série histórica permitiu classificar os eventos diários como moderados, de chuva muito forte e extremos, proporcionando uma base para a compreensão da intensidade e recorrência desses fenômenos. A análise de tempo de retorno identificou que o tempo de retorno para as chuvas de 50 mm são de 1 ano e de 2 anos para chuvas de 100,6 mm.

A quantificação dos eventos extremos por posto pluviométrico revelou disparidades na distribuição espacial desses fenômenos. Bairros como o Alto da Bela Vista, Dois Unidos e Nova Descoberta foram particularmente afetados por eventos de chuva muito forte e chuva extrema. A análise das características geográficas dessas localidades, aliada à vulnerabilidade socioeconômica, destaca a urgência de medidas preventivas nessas áreas de maior risco.

Ao explorar a variabilidade temporal e mensal da precipitação entre 2018 e 2021, identificou-se uma significativa variação entre os meses de abril a julho, caracterizando esses como os mais chuvosos. O posto de Nova Descoberta foi o que apresentou o maior total de chuva anual (1.887,14 mm), e o posto da Imbiribeira foi o que apresentou o menor (1.462,44 mm), demonstrando uma variabilidade de 424,7 mm.

A investigação dos eventos extremos envolveu a análise temporal e espacial da precipitação, identificando padrões sazonais e horários. A concentração de chuvas estratiformes durante a madrugada e manhã, associada à atuação da brisa marítima, foi uma característica marcante. Por outro lado, a presença de chuvas convectivas, notadamente relacionadas a sistemas atmosféricos como o DOL e o VCAN, foi mais perceptível durante os períodos da tarde e noite. A compreensão desses padrões é crucial para aprimorar as estratégias de gestão de riscos e alerta à população.

Em relação às análises sinóticas dos eventos, foram encontrados padrões de atuação do Distúrbio Ondulatório de Leste. Além disso, foi identificado que a direção e velocidade dos ventos influencia na distribuição das chuvas e na sua concentração sazonal diária, em relação com outros fatores como área de abrangência do sistema atmosférico em relação com os fatores geográficos, como a orientação das encostas.

Já os impactos afetam praticamente todo o município de maneiras diferentes. Nas áreas mais vulneráveis, há uma maior ocorrência de impactos severos com capacidade para causar danos à integridade física das pessoas, como os deslizamentos de terra. Em outras áreas, principalmente em locais de baixa altitude e nas proximidades dos corpos hídricos, há muitos pontos críticos de alagamentos, como pontos da Avenida Dois Rios no Ibura e da Avenida Recife no bairro do Ipsep, que são citados em mais de um evento.

Baseado nos registros de jornais históricos, a maior concentração de ocorrência de deslizamentos e óbitos foram nas áreas de tabuleiros, associados a uma maior vulnerabilidade socioambiental e econômica. A distribuição espacial dos impactos mostram que os bairros mais afetados por impactos severos em episódios pluviais extremos são os que estão localizados em áreas de risco à deslizamento de terra e de inundações, como as áreas ribeirinhas nas margens do Capibaribe, como Nova Descoberta, Dois Unidos, Alto José Bonifácio, Cohab, Ibura, Várzea e outros.

A importância dos resultados reside na sua aplicação prática para a formulação de políticas públicas, planejamento urbano e medidas para adaptação às mudanças

climáticas em Recife. Os resultados indicam a necessidade de implementação de estratégias de mitigação e adaptação, visando aumentar a resiliência do município diante de eventos extremos e variabilidade climática.

No entanto, é importante reconhecer as limitações do estudo. Recife possui apenas uma estação pluviométrica com dados históricos de precipitação, o que ainda dificulta maiores investigações acerca da distribuição espaço temporal das tendências e limiares da precipitação, considerando as particularidades geográficas do município que podem interferir na distribuição espacial da precipitação e na sua variabilidade climática.

Sendo assim, para futuros estudos sobre o tema, recomenda-se a expansão das análises da precipitação através da inclusão de dados de outras estações meteorológicas, tanto em Recife quanto nas áreas circunvizinhas, para capturar melhor a variabilidade espacial das chuvas. Além disso, outro caminho é buscar compreender como outras variáveis podem estar relacionadas às tendências, a distribuição espacial da precipitação e outros padrões de precipitação em Recife, como as variações nas anomalias das temperaturas dos oceanos e fatores antropogênicos, como a urbanização e o uso do solo.

O presente estudo encoraja pesquisas futuras a investigar de forma mais aprofundada a relação da precipitação e seus impactos associados à vulnerabilidade socioeconômica e ambiental. É de extrema importância situar a atenção às comunidades mais vulneráveis citadas nesse trabalho, bem como outras localizadas nas áreas de tabuleiros da zona norte e sul do Recife, através de pesquisas e ações que possam mitigar os impactos dos eventos pluviométricos extremos. Adicionalmente, é crucial envolver ativamente as comunidades locais no planejamento e na implementação dessas estratégias, contribuindo assim para a eficácia e o sucesso a longo prazo das iniciativas.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA ESPACIAL EUROPEIA (ESA). **Introduzindo o Sentinel-2.** (2022). Disponível em: [https://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel2/Introducing\\_Sentinel-2](https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel2/Introducing_Sentinel-2). Acesso em: 18/08/2022.
- AGÊNCIA BRASIL. **Chuvas deixam ruas alagadas na Região Metropolitana de Recife.** 2 mai. 2003. Disponível em: <https://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2003-05-02/chuvas-deixam-ruas-alagadas-na-regiao-metropolitana-de-recife>. Acesso em: 22 nov. 2023.
- ALBUQUERQUE, R. D. *et al.* Distribuição temporal das precipitações no município do Recife. **Revista Brasileira de Geografia Física.** v. 6, n. 2. p. 245-252, out. 2013.
- ALCOFORADO, R. G. *et al.* Aplicações do geoprocessamento ao estudo da macrodrenagem da zona costeira de Recife. In: **II Congresso sobre planejamento e gestão das zonas costeiras dos países de expressão portuguesa & IX Congresso da associação brasileira de estudos do quaternário & II Congresso do quaternário dos países de língua ibéricas.** Recife. 2003.
- ALMEIDA, L. Q.; CORRÊA, A. C. B. Dimensões da negação dos rios urbanos nas metrópoles brasileiras: O caso da ocupação da rede de drenagem da planície do Recife, Brasil. **Revista Geo UERJ**, nº 23, v. 1. p. 114 – 135. 2019.
- ALVES, A. V. P. *et al.* Análise dos métodos de estimativa para os parâmetros das distribuições de Gumbel e gev em eventos de precipitações máximas na cidade de Cuiabá-MT. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil.** v. 06, n. 01, p. 32-43, fev. 2013.
- AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. K., SANTORO, J. e AMARAL, R. (orgs). **Desastres naturais: conhecer para prevenir.** São Paulo: Instituto Geológico, 2009.
- AMBRIZZI, T. *et al.* **Mudanças climáticas e a sociedade.** coord. gráfica Angela Mendes. – M916 São Paulo : IAG, 2021. 44 p.
- ANJOS, L. S. *et al.* Análise dos impactos socioambientais para o risco a deslizamentos no bairro de Nova Descoberta, zona norte da cidade do Recife-PE. **Revista de Geografia**, Recife, v. 40, n. 1, p. 105-124, 27 abr. 2023. Universidade Federal de Pernambuco. <http://dx.doi.org/10.51359/2238-6211.2023.254786>.
- ANJOS, R. S. *et al.* Spacial distribution of rain types in Pernambuco with the usage of Remote Sensing. **Journal Of Hyperspectral Remote Sensing**, [S.L.], v. 6, p. 154-163, abr. 2016. Journal of Hyperspectral Remote Sensing. <http://dx.doi.org/10.5935/2237-2202.20160016>.

ANJOS, R. S.; CANDEIAS, A. L. B.; NÓBREGA, R. S. Mapeamento da precipitação estimada e observada no Semiárido Pernambucano e sua relação com a modelagem de dados espaciais. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 69, p. 447-462, mar. 2017.

ANJOS, R. S. **Modelagem espacial de doenças e suas relações com fatores socioeconômicos, morfoclimáticos e infraestruturais**. 2021. 142 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

ANJOS, R. S. Qualidade de dados do satélite TRMM para espacialização das chuvas na microrregião de Itaparica-PE. 142 f. **Dissertação** (Mestrado) - Curso de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

ANJOS, R. S.; WANDERLEY, L. S. A.; NÓBREGA, R. S. Análise espacial da precipitação e possíveis fatores que contribuem para sua espacialização em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 13, n. 1, p. 18-34, jan. 2020.

ARMOND, N. B. Entre eventos e episódios: as excepcionalidades das chuvas e os alagamentos no espaço urbano do Rio de Janeiro. **Dissertação de mestrado**. Presidente Prudente, 2014. 239 p.

ARMOND, N. B.; SANT'ANNA NETO, J. L. Utilização de mídia impressa na identificação e análise de episódios extremos de chuva no município do Rio de Janeiro. **Revista geonorte**, [S. l.], v. 3, n. 8, p. 774 –, 2012. Disponível em: [//www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2412](http://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2412). Acesso em: 18 jul. 2023.

ARTAXO, P. Dossiê clima: mudanças climáticas e o brasil. **Revista Usp**, São Paulo, n. 103, p. 8-12, nov. 2014.

ARTAXO, P. *et al.* Química atmosférica na Amazônia: a floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. **Acta Amazonica**, [S.L.], v. 35, n. 2, p. 185-196, jun. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672005000200008>.

ARTAXO, P. Working together for Amazonia. **Science**, [S.L.], v. 363, n. 6425, p. 323-323, 25 jan. 2019. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.aaw6986>.

ASNANI, G. C. **Tropical meteorology**. Vols. I-II, Pune-India: Noble Printers, 1993, 1201 p.

ATLAS DE J. VINGBOONS. Mapa da cidade Maurícia (atual cidade de Recife/PE) de 1939. In: Instituto Arqueológico, Histórico e Geográfico de Pernambuco). Disponível: <https://www.labtopope.com.br/cartografia-historica/>. Acesso em: 09 de nov. de 2023.

ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS: 1991 a 2012 / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. **rev. ampl.** – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

AYOADE J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 4º ed. 1996, 332 p.

BARRETO, A. B.; ARAGÃO, M. R. S.; BRAGA C. C. Estudo do Ciclo Diário do Vento à Superfície no Nordeste do Brasil. **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, foz do Iguaçu – PR. agosto de 2002. CDROM.

BARROS, V. S. *et al.* Análise de tendência do índice de precipitação padronizado em Recife–PE. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 8, p. 1-13, 17 jul. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17458>.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 528 p. ISBN 978-8565837101.

BIBLIOTECA DIGITAL NACIONAL BRASIL. Diário de Pernambuco, 13 de junho de 1965, ed. 133, p. 1 – 52.

BIBLIOTECA DIGITAL NACIONAL BRASIL. Diário de Pernambuco, 29 de maio de 1966, ed. 124, p. 1 – 59.

BIBLIOTECA DIGITAL NACIONAL BRASIL. Diário de Pernambuco, 16 de junho de 1966, ed. 138, p. 1 – 14.

BIBLIOTECA DIGITAL NACIONAL BRASIL. Diário de Pernambuco, 17 de junho de 1966, ed. 139, p. 1 – 16.

BIBLIOTECA DIGITAL NACIONAL BRASIL. Diário de Pernambuco, 24 de maio de 1986, ed. 140, p. 5.

BIBLIOTECA DIGITAL NACIONAL BRASIL. Diário de Pernambuco, 21 de julho de 1970, ed. 170, p. 1 - 24.

BIBLIOTECA DIGITAL NACIONAL BRASIL. Diário de Pernambuco, 12 de agosto de 1970, ed. 188, p. 1.

BIBLIOTECA DIGITAL NACIONAL BRASIL. Diário de Pernambuco, 12 de agosto de 1970, ed. 188, p. 12.

BIBLIOTECA DIGITAL NACIONAL BRASIL. Diário de Pernambuco, 20 de setembro de 1970, ed. 221, p. 1 – 82

BIBLIOTECA DIGITAL NACIONAL BRASIL. Diário de Pernambuco, 18 de julho de 1975, ed. 190, p. 1 - 24.

BIBLIOTECA DIGITAL NACIONAL BRASIL. Diário de Pernambuco, 19 de julho de 1975, ed. 191, p. 1.

BIBLIOTECA DIGITAL NACIONAL BRASIL. Diário de Pernambuco, 02 de maio de 1977, ed. 116, p. 1 - 10.

BIBLIOTECA DIGITAL NACIONAL BRASIL. Diário de Pernambuco, 11 de junho de 1980, ed. 156, p. 1 - 48.

BIBLIOTECA DIGITAL NACIONAL BRASIL. Diário de Pernambuco, 12 de junho de 1980, ed. 157, p. 1 - 52.

BIBLIOTECA DIGITAL NACIONAL BRASIL. Diário de Pernambuco, 25 de março de 1986, ed. 081, p. 1 - 32.

BIBLIOTECA DIGITAL NACIONAL BRASIL. Diário de Pernambuco, 29 de julho de 1990, ed. 193, p. 1 - 53.

BIRSAN, M. V., DUMITRESCU, A., MICU, D. M., & CHEVAL, S. Changes in annual temperature extremes in the Carpathians since AD 1961. 2014. **Natural Hazards**, 74(3), 1899-1910.

BITOUN, J. **O que revelam os índices de desenvolvimento humano**. Atlas municipal de desenvolvimento humano do Recife. 2005.

BITTENCOURT, Priscilla Aparecida Santana; BARROS, Daniela Melaré Vieira; ALBINO, João Pedro. In: **Atas do Congresso Internacional sobre Avaliação no Ensino Superior**. Minho: Universidade do Minho, 2019. Anais.

BRANDÃO, A.M. de P.M. Clima Urbano e Enchentes na cidade do Rio de Janeiro. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. (Org.) **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**, Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2001.

BRASIL DE FATO. **Alagamentos, deslizamentos e enchentes: moradores do Recife sofrem com fortes chuvas**. Brasil de Fato, 21 de maio de 2021. Disponível em: <<https://www.brasildefato.com.br/2021/05/21/alagamentos-deslizamentos-e-enchentes-moradores-do-recife-sofrem-com-fortes-chuvas>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

CAILLEUX, A. & TRICART, J. **Le problème de la classification des faits géomorphologiques**. Annales de Géographie, n° 349, p. 162-186, 1956.

CAMPOS, H. L. O Rio Beberibe e sua importância para o abastecimento de água da Região Metropolitana do Recife – RMR: uma perspectiva histórica. 2008. **Clio - Série de Revista de Pesquisa Histórica** [online] 26(1). Disponível: [revistaclio/article/view/24203](http://revistaclio/article/view/24203).

CAMPOS, H. L.; PACHECO, S. M. Uma análise histórico-geográfica da importância do rio Beberibe para o abastecimento de água da Região Metropolitana do

Recife. **Agua y Territorio**, [S.L.], n. 11, p. 34-43, 29 jun. 2018. Universidad de Jaen. <http://dx.doi.org/10.17561/at.11.2945>.

CASTELHANO, F. J. **O clima e as cidades**. Curitiba: InterSaberes, 2020. 1° ed. ISBN 978-85-227-0264-0.

CASTRO, J. **Um ensaio de geografia urbana: A cidade do Recife**. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, Editora Massangana, 2013. 122 p.

CONFALONIERI, U. E. C. Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil. **Terra Livre**, [S. l.], v. 1, n. 20, p. 193–204, 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS DEFESAS CIVIS & BBC BRASIL. **Mortes por chuvas em 2022 já superam ano passado inteiro**. 2022. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-61651974>. Acesso em: 24 jun. 2022.

CONTI, J.B. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. In: **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 16, 2005, p.70-75.

CORREA, A.C.B. Contribuição à análise do Recife como um geossistema urbano. **Revista de Geografia (UFPE)**. V.23, n.3, 2006.

CORREA, M. G.; GALVANI, E. Évaluation de L'effet Orographique dans le Bassin Versant Du Piquiri –Paraná/Brésil. **Colloque de l'Association Internationale de Climatologie**, Lausanne (Besançon), Associação Internacional de Climatologia 29,211-216. 2016.

CORREIO BRAZILIENSE. **Chuva causa 4 mortes na Região Metropolitana do Recife**. 12 jun. 2009. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/brasil/2009/06/12/interna-brasil,118155/chuva-causa-4-mortes-da-regiao-metropolitana-do-recife.shtml>. Acesso em: 22 nov. 2023.

CHANGNON, S. A. Impacts of urban modified precipitation in the St. Louis area. In: **Summary of metromex, volume 1: Weather anomalies and impacts**. CHANGNON, S. A.; HUFF, F. A.; SCHICKEDANZ, P. T.; VOGEL, J. L. (orgs.). Illinois state water survey, Urbana, Bulletin 62, 1977.

CHOU, S. C. Análise de distúrbios ondulatórios de leste sobre o Oceano Atlântico equatorial sul. ago. 1990. 134 p. (INPE – 5222 – TDL/437). **Dissertação** (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1990.

CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPÇÃO, R. S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde em Debate**, [S.L.], v. 43, n. 3, p. 94-108, dez. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-11042019s307>.

CHRISTOFOLETTI, A. Complexidade e auto-organização aplicadas em estudos sobre paisagens morfológicas fluviais. In: Simpósio brasileiro de geografia física

aplicada, 7., 1997, Curitiba. **Anais**. Paraná: Universidade Federal do Paraná, 1997. p. 9-19.

CLIMPACT. **Guia do Usuário do Climpact An R software package that calculates ET-SCI indices**. 2022. <https://ccrc-extremes.shinyapps.io/climpact/>

CNN BRASIL. **Enchentes na Alemanha deixam mais de 100 mortos; 1.300 estão desaparecidos**. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/enchentes-na-alemanha-mortos-e-desaparecidos/#:~:text=Chuvas%20s%C3%A3o%20as%20mais%20intensas%20em%20100%20anos&text=Grandes%20%C3%A1reas%20do%20oeste%20da,meteorologista%20da%20CNN%20Brandon%20Miller>. Acesso em: 08 ago. 2022.

CNN BRASIL. **ONU: inundações que atingem o Paquistão são as piores em mais de uma década**. Inundações que atingem o Paquistão são as piores em mais de uma década. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/onu-inundacoes-que-atingem-o-paquistao-sao-as-piores-em-mais-de-uma-decada/#:~:text=O%20secret%C3%A1rio%20Dgeral%20da%20ONU,em%20mais%20de%20uma%20d%C3%A9cada>. Acesso em: 15 set. 2022.

WMO. **Diretrizes da OMM de 2017 da Organização Meteorológica Mundial sobre o cálculo das normais climáticas**. WMO-Nº. 1203. On-line: [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=20130](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20130).

DIÁRIO DE PERNAMBUCO (Recife). **Chuvas na Grande Recife que já deixaram 91 mortos**. 2022. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2022/05/chuvas-na-grande-recife-que-ja-deixaram-91-mortos.html>. Acesso em: 08 ago. 2022.

DIÁRIO DE PERNAMBUCO. **Chuvas no Recife chegaram a 71% do previsto para abril em 36 horas**. Diário de Pernambuco, 2021. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2021/04/chuvas-no-recife-chegaram-a-71-do-previsto-para-abril-em-36-horas.html>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

DIÁRIO DE PERNAMBUCO. **Inverno de 2019 registra maior número de mortes desde 1975**. Diário de Pernambuco, 2019. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2019/07/inverno-de-2019-registra-maior-numero-de-mortes-desde-1975.html>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

DIÁRIO DE PERNAMBUCO. **Maior chuva do ano deixa rastro de mortes, deslizamentos e quedas de árvores no Recife**. 29 jun. 2015. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2015/06/maior-chuva-do-ano-deixa-rastro-de-mortes-deslizamentos-e-quedas-de-arvores-no-recife.html>. Acesso em: 22 nov. 2023.

DINIZ, R. F; PESSOA, R. A. C. Para enfrentar a vulnerabilidade numa cidade anfíbia: resiliência, adaptação e promoção da equidade diante da crise climática. In:

**Reforma urbana e direito à cidade.** Maria Angela de A. Souza, Fabiano Rocha Diniz, Danielle de Melo Rocha (Orgs.) - 1. ed. - Rio de Janeiro: Letra Capital, 2022.

DUNN, G. E. **Cyclogenesis in the Tropical Atlantic.** *Bull. Amer. Meteor. Society*, 21, 215-229, 1940.

EMANUEL, K. Downscaling CMIP5 climate models shows increased tropical cyclone activity over the 21st century. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 110(30), 12219-12224, 2013.

EMLURB. Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana. Plano Diretor de Drenagem e Manejo das Águas Urbanas do Recife: Relatório do diagnóstico do sistema de drenagem existente. 2016. Recife-PE, 333p.

ESTADÃO. **Chuvas provocam alagamentos e primeira morte no Recife.** 17 jun. 2004. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/brasil/chuvas-provocam-alagamentos-e-primeira-morte-no-recife/>. Acesso em: 22 nov. 2023.

FERREIRA, A. G. **Meteorologia prática.** São Paulo: Oficina de textos, 2006.

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

FERREIRA, R. R. Aspectos Termodinâmicos de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis sobre o Nordeste do Brasil. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande. **Dissertação de Mestrado.** 2017. 85p.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Chuvas e deslizamentos deixam ao menos 12 mortos no Grande Recife.** 2019. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/07/chuva-forte-causa-ao-menos-cinco-mortes-no-grande-recife.shtml>. Acesso em: 12 nov. 2023.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Chuvas matam oito e deixam 250 desalojados em Recife (PE).** 28 jun. 2010. Disponível em: <https://m.folha.uol.com.br/cotidiano/2010/06/753166-chuvas-matam-oito-e-deixam-250-desalojados-em-recife-pe.shtml>. Acesso em: 22 nov. 2023.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Chuva mata três e deixa 9.500 desabrigados em Recife.** 18 set. 2000. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u10246.shtml>. Acesso em: 22 nov. 2023.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Chuvas provocam queda de barreira no Recife.** 14 jun. 2001. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u31120.shtml>. Acesso em: 22 nov. 2023.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Recife registra maior volume de chuva do ano.** 07 jun. 2006. Disponível em:

<https://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u122514.shtml>. Acesso em: 22 nov. 2023.

FOLHA PE. **Recife amanhece com ruas alagadas neste domingo (11) após chuva forte.** Folha PE, 11 de abril de 2021. Disponível em: <<https://www.folhape.com.br/noticias/recife-amanhece-com-ruas-alagadas-neste-domingo-11-apos-chuva-forte/179652/>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

FOLHA PE. **Recife registra o esperado para quase 10 dias de chuva em 6 horas, diz prefeitura.** Folha PE, 13 de junho de 2019. Disponível em: <<https://www.folhape.com.br/noticias/recife-registra-o-esperado-para-quase-10-dias-de-chuva-em-6-horas-pref/107759/>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

FONSECA NETO, G. C. Estimativa de níveis de cheia em dois canais na planície de Recife por ocasião de chuvas torrenciais levando em conta elevação do nível do mar devido às mudanças climáticas. 2016. 50 f., il. e tab. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

G1 JORNAL NACIONAL. **Chuva deixa mortos e desabrigados na Região Metropolitana do Recife.** G1, 24 de julho de 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2019/07/24/chuva-deixa-mortos-e-desabrigados-na-regiao-metropolitana-do-recife.ghtml>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

G1 GLOBO (Pernambuco). **Chuva causa mortes, deslizamento de barreiras e alagamentos no Grande Recife.** 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2019/07/24/chuva-causa-deslizamento-de-barreiras-e-alagamento-no-grande-recife.ghtml>. Acesso em: 12 nov. 2023.

G1 PERNAMBUCO. **Água invade casas e deixa vias intransitáveis em segundo dia de chuvas fortes no Grande Recife.** G1, Pernambuco, 14 de maio de 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2021/05/14/agua-invade-casas-e-deixa-vias-intransitaveis-em-segundo-dia-de-chuvas-fortes-no-grande-recife.ghtml>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

G1 PERNAMBUCO. **Apac alerta para continuidade de chuvas fortes no Grande Recife, Zona da Mata e Noronha.** G1, Pernambuco, 13 de maio de 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2021/05/13/apac-alerta-para-continuidade-de-chuvas-fortes-no-grande-recife-zona-da-mata-e-noronha.ghtml>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

G1 PERNAMBUCO. **Chuva causa deslizamento de barreiras e alagamento no Grande Recife.** G1, Pernambuco, 24 de julho de 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2019/07/24/chuva-causa-deslizamento-de-barreiras-e-alagamento-no-grande-recife.ghtml>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

G1 PERNAMBUCO. **Chuva de 200 milímetros deixa quatro mortos no Recife e em Olinda.** 31 mai. 2016. Disponível em:

<https://g1.globo.com/pernambuco/noticia/2016/05/chuva-de-200-milimetros-deixa-quatro-mortos-no-recife-e-em-olinda.html>. Acesso em: 22 nov. 2023.

**G1 PERNAMBUCO. Chuva e raio provocam transtornos na Região**

**Metropolitana do Recife.** 13 jan. 2016. Disponível em:

<https://g1.globo.com/pernambuco/noticia/2016/01/chuva-e-raio-provocam-transtornos-na-regiao-metropolitana-do-recife.html>. Acesso em: 22 nov. 2023.

**G1 PERNAMBUCO. Chuva provoca deslizamento e alagamentos no Recife.** G1, Pernambuco, 13 de junho de 2019. Disponível em:

<<https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2019/06/13/chuva-provoca-deslizamento-e-alagamentos-no-recife.ghtml>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

**G1 PERNAMBUCO. Com registro de chuvas fortes, Grande Recife tem alagamentos e transtornos.** G1, Pernambuco, 13 de maio de 2021. Disponível em:

<<https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2021/05/13/com-registro-de-chuvas-fortes-grande-recife-tem-alagamentos-e-transtornos.ghtml>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

**G1 PERNAMBUCO. Em 12 horas, Recife registra chuva esperada para 11 dias.** 6 jun. 2014. Disponível em: <https://g1.globo.com/pernambuco/noticia/2014/06/em-12-horas-recife-registra-chuva-esperada-para-11-dias.html>. Acesso em: 22 nov. 2023.

**G1 PERNAMBUCO. Fortes chuvas no final de semana causam alagamentos e transtornos no Grande Recife.** G1, Pernambuco, 11 de abril de 2021. Disponível em:

<<https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2021/04/11/fortes-chuvas-no-final-de-semana-causam-alagamentos-e-transtornos-no-grande-recife.ghtml>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

**G1 PERNAMBUCO. Grande Recife, Zona da Mata e Agreste têm alerta de chuva moderada a forte.** G1, Pernambuco, 14 de junho de 2020. Disponível em:

<<https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2020/06/14/grande-recife-zona-da-mata-e-agreste-tem-alerta-de-chuva-moderada-a-forte.ghtml>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

**G1 PERNAMBUCO. Pernambuco contabiliza 102 pessoas desabrigadas e 36 desalojadas devido às fortes chuvas e 39 deslizamentos.** G1, Pernambuco, 14 de maio de 2021. Disponível em:

<<https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2021/05/14/pernambuco-contabiliza-102-pessoas-desabrigadas-e-36-desalojadas-devido-as-fortes-chuvas-e-39-deslizamentos.ghtml>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

**G1 PERNAMBUCO. Recife confirma 1 morte causada por queda de barreira este ano.** 27 abr. 2016. Disponível em:

<https://g1.globo.com/pernambuco/noticia/2016/04/recife-confirma-1-morte-causada-por-queda-de-barreira-este-ano.html>. Acesso em: 22 nov. 2023.

**G1 PERNAMBUCO. Recife registra 79,6 milímetros de precipitação em menos de 24 horas.** 17 abr. 2014. Disponível em:

<https://g1.globo.com/pernambuco/noticia/2014/04/recife-registra-796-milimetros-de->

precipitacao-em-menos-de-24-horas.html#:~:text=O%20Recife%20registrou%2079%2C6,%C3%81gua%20e%20Clima%20(Apac)./. Acesso em: 22 nov. 2023.

G1 PERNAMBUCO. **Sobe para cinco o número de mortos em deslizamento em Camaragibe; duas pessoas seguem desaparecidas.** G1, Pernambuco, 14 de junho de 2019. Disponível em:

<<https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2019/06/14/sobe-para-cinco-o-numero-de-mortos-em-deslizamento-em-camaragibe-duas-pessoas-seguem-desaparecidas.ghtml>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

GOUDARD, G. Eventos pluviiais extremos e riscos hidrometeorológicos Híbridos na Bacia do Alto Iguaçu (Paraná). 2019. **Dissertação** (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná.

GIRÃO, O. Mudanças Climáticas Globais: Impactos sobre o espaço nordestino - o aumento dos eventos pluviiais extremos. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 26, p. 216-255, 2009.

GIRÃO, O. Reconstrução do clima no nordeste brasileiro secas e enchentes do século XIX. **Finisterra**, Lisboa, v. 93, n. , p. 29-47, mar. 2012.

GOIS, R. L. S. Alterações climáticas e desastres naturais no nordeste do Brasil: da complexidade social, política e jurídica. **Tese** (Doutorado em Alterações Climáticas e Políticas de Desenvolvimento Sustentável – Especialidade Ciências do Ambiente) — Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2017. 367 f.

GÓES, V. C.; CIRILO, J. A. Aplicação do modelo hidrológico-hidrodinâmico mikeshe/mike 11 à Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe em Pernambuco. In: **XVIII simpósio brasileiro de recursos hídricos**, 11., 2009, Campo Grande- MS. 2009.

GOMES, E. T. A. Recortes de paisagens na cidade do Recife: uma abordagem geográfica. 1997. **Tese** (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. . Acesso em: 11 jul. 2023.

GOMES, H. B. *et al.* Climatology of easterly wave disturbances over the tropical South Atlantic. **Clim. Dynam.** 53, 1393–1411, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04667-7>, 2019.

GOMES, M. M. A. Abordagem integrada de modelagem hidrológica e operação de barragens para avaliação da eficiência do controle de cheias na Bacia do Rio Capibaribe. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. 2019. 155 f.

**Guia do Usuário do Índice Padronizado de Precipitação da WMO.** 2012 (7 bis, avenue de la Paix – PO Box 2300 – CH 1211 Geneva 2 – Switzerland)  
Online: [http://www.wamis.org/agm/pubs/SPI/WMO\\_1090\\_EN.pdf](http://www.wamis.org/agm/pubs/SPI/WMO_1090_EN.pdf)

HALL, B. A. Westward – moving disturbances in the South Atlantic coinciding with heavy rainfall events at Ascension Island. **Meteorological Magazine**, v. 118, p. 175-181, 1989.

HANSEN, J. **Storms of My Grandchildren: The Truth about the Coming Climate Catastrophe and Our Last Chance to Save Humanity**. Bloomsbury USA. 2009.

HANSEN, J. *et al.* Ice melt, sea level rise and superstorms: evidence from paleoclimate data, climate modeling, and modern observations that 2 °C global warming could be dangerous. **Atmospheric Chemistry And Physics**, [S.L.], v. 16, n. 6, p. 3761-3812, 22 mar. 2016. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/acp-16-3761-2016>.

Harari, J. *et al.* Climatology and hidrography of Santos Estuary. Perspective on Integrated Coastal Zone Management in South America. **IST Press**, Portugal. 2008.

HARTWIG, M. P. **Apostila de Hidrologia**. Universidade Aberta do Brasil Instituto Federal Sul-rio-grandense, 2012.

HERSFIELD, D. M.; KOHLER, M. A, An empirical appraisal of the Gumbel extreme value procedure. **Journal of Geophysical Research**, v. 65, n. 6, p. 1737-1746, 1960.

HIERA, M. D, LIMA JÚNIOR, A. F., ZANELLA, M. E. Tendência da precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Climatologia** [online] 24. 2019. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/54207/38779>.

HOUNSOU-GBO, G. A. Dinâmica do Atlântico tropical e seus impactos sobre o clima ao longo da costa do Nordeste do Brasil. **Tese** (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. 2015. Recife. 146 f.

HUFF, F. A. Urban effects on storm rainfall in Midwestern United States, Proceedings of the Amsterdam Symposium, Effects of urbanization and industrialization on the hydrological regime and on the water quality. october, publ. **IAHS** n. 123, p. 12-19, 1977.

IBGE. **População**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>. Acesso em: 19 ago. 2022.

IBGE. **Cidades**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/recife.html>>. Acesso em agosto de 2022.

IBGE. **Pesquisa Censo Demográfico 1970 - Recife**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/pesquisa/43/0?ano=1970&tipo=grafico>>. Acesso em: 21 de nov. de 2023.

IPCC. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp. 2014.

IPCC. **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change.** Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014.

IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, 2021. doi:10.1017/9781009157896.

IPCC. **Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.** Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-24. 2018. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios.** Ministério das Cidades. Brasília, 2007.

JC ONLINE. **Recife registra em 6 horas chuva equivalente a 10 dias.** JC Online, 13 de junho de 2019. Disponível em: <<https://jc.ne10.uol.com.br/canal/cidades/geral/noticia/2019/06/13/recife-registra-em-6-horas-chuva-equivalente-a-10-dias-380937.php>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

JC ONLINE. **Recife registra 82 mm de chuvas nas últimas 24 horas.** JC Online, 11 de abril de 2021. Disponível em: <<https://jc.ne10.uol.com.br/blogs/jamildo/2021/04/11/recife-registra-82-mm-de-chuvas-nas-ultimas-24-horas/index.html>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

JC PE. **No Recife, chuvas chegaram a 71% do previsto para abril em 36 horas.** 22 nov. 2023. Disponível em: <https://jc.ne10.uol.com.br/pernambuco/2021/04/12050142-no-recife-chuvas-chegaram-a-71-do-previsto-para-abril-em-36-horas.html#:~:text=Em%2036%20horas%2C%20da%20noite,de%20326%20mil%C3%ADmetros%20de%20precipita%C3%A7%C3%A3o..> Acesso em: 22 nov. 2023.

JORNAL DO COMMERCIO. **Fortes chuvas deixam rastro de mortes e destruição no Grande Recife.** JC Online, 24 de julho de 2019. Disponível em: <https://jc.ne10.uol.com.br/canal/cidades/geral/noticia/2019/07/24/fortes-chuvas-deixam-rastro-de-mortes-e-destruicao-no-grande-recife-383978.php>. Acesso em: 12 de novembro de 2023.

JORNAL UOL. **Chuvas já mataram 14 no Recife.** 01 de agosto de 2000. <https://www1.folha.uol.com.br/paywall/login.shtml?https://www1.folha.uol.com.br/fohla/cotidiano/ult95u6253.shtml>. Acesso em 26/08/2022.

JUNIOR, M. A. B. S.; SILVA, R. S. Impactos da urbanização e das alterações climáticas no sistema de drenagem do Recife/PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.09, n.06, p. 2034 – 2053, 2016.

KENDALL, M. G. Rank correlation methods. **Griffin**. 1948.

KEITH, G. J., “An analysis of sea breezes on the south coast of England and evidence of pre- and post-frontal waves at the surface”. **Dissertação de mestrado**. 2004. Department of Meteorology, University of Reading, 74 pp.

KOBIYAMA, *et al.* **Prevenção de Desastres Naturais**. Ed. Organic Trading. Curitiba. 2006.

KRATZER, A. **The climate of cities**. Massachusetts: American Meteorological Society, 1956. 230 p.

KRISHNAMURTI, T. N. Tropical Meteorology. **Compendium of Meteorology**, v. 2, part. 4, 1979, 428 p., WMO Publ. No. 364.

LANDESBURG, H. E. **The Urban Climate**. Academic Press, 1981. 275 p.

LIMA, L. T. Eventos extremos de precipitação em Londrina (PR): uma análise multidisciplinar. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Londrina, 2022. 91p.

LIMA, M. C. G. *et al.* Impactos gerados e a gestão da bacia do rio Capibaribe-PE. **Journal Of Environmental Analysis And Progress**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 075-085, 29 jan. 2018. Journal of Environmental Analysis and Progress - JEAP. <http://dx.doi.org/10.24221/jeap.3.1.2018.1658.075-085>.

LUNA, V. F. Eventos extremos de chuva e suscetibilidade a inundação em Juazeiro do Norte, Ceará. **Dissertação** (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife. 2023. 140 f.

LUNA, V. F.; SILVA, J. M. O. Eventos extremos de chuva e impactos associados no município de Crato/CE. **Geografia Ensino & Pesquisa**, [S.L.], v. 27, p. 1-25, 27 jun. 2023. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2236499469086>.

MACHADO, C. C. C. *et al.* Distúrbio ondulatório de leste como condicionante a eventos extremos de precipitação em Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 11, n. 8, p. 146-188, dez. 2012.

MAGALHÃES, G. B.; ZANELLA, M. E.; SALES, M.C.L. A ocorrência de chuvas e a incidência de leptospirose em Fortaleza-CE. **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, Fortaleza, v. 5, n. 9, p. 77-87, 30 nov. 2009.

MANN, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259.

MANN, M. E., & EMANUEL, K. Atlantic hurricane trends linked to climate change. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 87(24), 233-241, 2006.

MARENGO, J. A. O futuro clima do Brasil. *Revista USP*, (103), 25-32. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103>, p25-32. 2014.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semiárido do Brasil. *Parcerias estratégicas*, v. 13, n. 27, p. 149-176, 2008.

MARENGO, J. A. *et al.* Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro, In: Medeiros, S. S.; Gheyi, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. S. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, Campina Grande: INSA. 2011. p.383-422. 2012.

MATT HALLDIN. **Intertropical Convergence Zone**. Source=Own work. Based on Image: ZICT en janvier.jpg, Image:ZICT en juillet.jpg, and Image:BlankMap-World.png. 13 de dez. 2006.

MELO, M. L. **Paisagens do Nordeste em Pernambuco e Paraíba**. 2º ed. Recife: Cepe, 2012. 255 p.

MENDES, T. G. L. *et al.* Abordagem científica sobre ilhas de calor em Recife-PE. *Journal Of Environmental Analysis And Progress*, v. 04, n. 01, p. 1-13, nov. 2018.

MENDES, T. G. L. Qualidade do ar e a percepção dos usuários nos terminais de passageiros do Recife-PE. 2021. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

MENDONÇA, F. *et al.* **Riscos híbridos: concepções e perspectivas socioambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 162 p.

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

MENDONÇA, F.A; ROSEGHINI, W. F. F. Eventos climáticos extremos: uma abordagem a partir dos riscos e vulnerabilidades socioambientais. In: SILVA, C. A.; FIALHO, E. S. **Concepções e ensaios da Climatologia Geográfica**. 1 ed. v. 01, Dourados: Editora da UFGD, 2012, p. 209-232.

MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 17, 2002. 1-10.

MONTEIRO, C. A. F. **Clima e excepcionalismo**. Conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. Florianópolis: Editora da UFSC, 1991.

MONTEIRO, C. A. F. O Estudo do Clima Urbano no Brasil: Evolução, tendências e alguns desafios. In: MONTEIRO C. A. de F.; MENDONÇA, F. de A. In: **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. 192p.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: Universidade de São Paulo/ Instituto de Geografia, 181p. (Série Teses e Monografias n° 25) 1975.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. São Paulo: contexto, 2009.

MONTEIRO, J. B. A influência de teleconexões e sistemas meteorológicos produtores de precipitação no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 312-332, 23 mar. 2022. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p312-332>.

MONTEIRO, J. B.; ZANELLA, M. E. A metodologia dos máximos de precipitação aplicada ao estudo de eventos extremos diários nos municípios de Crato, Fortaleza e Sobral - CE. **GeoTextos**, 13(2), 2017. <https://doi.org/10.9771/1984-5537geo.v13i2.24011>.

MOREIRA, A. B. A Vulnerabilidade socioespacial à ilha de calor urbana na cidade de Recife - PE, Brasil. 2021. 157 f. **Tese** (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

MOREIRA, A. B. et al. Eventos extremos e a cidade: estudo de caso dos impactos causados por um evento climático em área urbana. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 10, n. 6, p. 1730–1745, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v10.6.p1730-1745>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.6.p1730-1745>

MOREIRA, A. B. et al. O Fator de Visão do Céu e o clima urbano na cidade do Recife - PE/ Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 28, p. 28-47, abr. 2021. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/71518>. <https://doi.org/10.5380/rbclima.v28i0.71518>.

MOREIRA, A. B. *et al.* OS ESTUDOS DE CLIMA URBANO E O SEU DESENVOLVIMENTO NA CIDADE DO RECIFE - PE: campos de estudo, técnicas de investigação e perspectivas futuras. **Caminhos de Geografia**, [S.L.], v. 23, n. 90, p. 230-251, 8 dez. 2022. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rcg239061268>.

MOREIRA, E. B. M. Variação espacial e multitemporal das temperaturas da superfície na cidade do Recife. 2009. 98 f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

MOREIRA, E. B. M. Balanço de energia e evapotranspiração na cidade do Recife-PE por sensoriamento remoto. 2014. 152 f. **Tese** (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

MOREIRA, E. B. M; NÓBREGA, R. S.; SILVA, B. B. Influência da expansão urbana em Recife (PE) no fluxo de calor sensível através de imagens digitais do TM Landsat 5. **Revista de Geografia (UFPE)**, Recife, v. 30, n. 2, p. 153-168, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229100>.

MOTA, G. V. Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no Nordeste brasileiro. 1997. 93p. **Dissertação** (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade São de Paulo, São Paulo, 1997.

MOURA, L. S. Modelagem computacional aplicada à revitalização de rios urbanos: estudo de caso em uma sub-bacia hidrográfica do rio Tejipió-Recife/PE. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. 2022. 136 f:

MUNIZ, P. T. Sistemas hidrográficos complexos: dimensões socioambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Tejipió. **Dissertação** (mestrado em geografia) – UFPE. Recife, 2005. 128 f.

NASCIMENTO JÚNIOR, L. Perspectivas da Variabilidade Climática. **Geografia em Questão**, v. 10, n. 1, 2017.

NASHWAN, M. S., & SHAHID, S. (2019). Spatial distribution of unidirectional trends in climate and weather extremes in Nile river basin. **Theoretical and Applied climatology**, 137(1), 1181-1199.

NE10. **Apesar da chuva, não houve registro de ocorrência grave no Recife**. 19 jun. 2003. Disponível em: <https://ne10.uol.com.br/canal/noticias//noticia/2003/06/19/apesar-da-chuva-nao-houve-registro-de-ocorrencia-grave-no-recife-26933.php>. Acesso em: 22 nov. 2023.

NE10. **Chuvas causam alagamentos e queda de árvore no Grande Recife**. Rádio Jornal, Recife, 16 de junho de 2020. Disponível em: <<https://radiojornal.ne10.uol.com.br/noticia/2020/06/16/chuvas-causam-alagamentos-e-queda-de-arvore-no-grande-recife-190158>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

NE10. **Chuvas causam a primeira morte do ano no Recife**. 23 mai. 2005. Disponível em: <https://ne10.uol.com.br/canal/noticias//noticia/2005/05/23/chuvas-causam-a-primeira-morte-do-ano-no-recife-82931.php>. Acesso em: 22 nov. 2023.

NE10. **Chuvas no Recife causam morte de uma criança**. 2 mai. 2006. Disponível em: <https://ne10.uol.com.br/canal/noticias//noticia/2006/05/02/chuvas-no-recife-causam-morte-de-uma-crianca-103594.php>. Acesso em: 22 nov. 2023.

NETO, J. C. de M. **A escola das facas**. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1980.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 1989. 2 ed. IBGE, Rio de Janeiro.

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A. Climatic variability in the Amazon Basin and its links with the Andes and the Pacific Ocean. **Global and Planetary Change**, 85-86, 56-65, 2012.

NOBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. L. Eventos extremos pluviais em Jaboatão dos Guararapes: climatologia e estudo de caso. **Revista do Departamento de**

**Geografia** Universidade de São Paulo, São Paulo: 40 anos de teoria e clima urbano, p. 70-82, 25 set. 2016.

NÓBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. L.; SANTOS, C. A. C. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 171-180, jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130624>.

NÓBREGA, R. S.; SANTOS, P. F. C.; MOREIRA, E. B. M. Morfologia urbana e ilhas de calor na cidade do Recife/PE: distribuição espacial e intensidade. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 33, n. 4, Edição Especial, p. 319-333, out. 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229301>.

O GLOBO. **Forte chuva em Petrópolis causa inundações, arrasta carros e provoca queda de barreiras; mortes passam de 30**. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2022/02/15/grande-voluma-de-chuva-causa-inundacoes-arrasta-carros-e-provoca-queda-de-barreiras-em-petropolis.ghtml>. Acesso em: 08 ago. 2022.

OLIVEIRA, G. C. de S. *et al.* Uma Abordagem da Geografia do Clima Sobre os Eventos Extremos de Precipitação em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 04, n. 02, p. 238-251, ago. 2011.

OLIVEIRA, L. R. Avaliação preliminar da relação intensidade duração-frequência pelo método Kimball e obtenção dos coeficientes de desagregação para diferentes durações de precipitação. Estudo de caso: Caetité - BA. 2017. 55 f. **TCC** (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

OLIVEIRA, V. **Geologia da planície do Recife**: contribuição ao seu estudo. Recife: Oficinas Gráficas do Jornal do Commercio, 1942.

OLIVEIRA, T. H. Mudança espaço temporal do uso e cobertura do solo e estimativa do balanço de energia e evapotranspiração diária no município do Recife-PE. 2012. 154 f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012. 154p.

OKE, T. R. **REVIEW OF URBAN CLIMATOLOGY 1973-1976**. Wmo, 1979. 114 p.

PEREIRA, P. de S. *et al.* **Atlas de vulnerabilidade à erosão costeira e mudanças climáticas em Pernambuco**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2015. 98 p. ISBN 978-85-415-0788-2.

PINKAYAN, S. **Conditional probabilities of occurrence of wet and dry Years over a large continental area**, Hydrology Papers, Colorado State University, Fort-Collins, Colorado-USA, N° 12.

PLANCHE, *et al.* The influence of aerosol particle number and hygroscopicity

on the evolution of convective cloud systems and their precipitation: A numerical study based on the COPS observations on 12 august 2007. **Atmos. Res.**, v. 98, p. 40–56, 2010.

PONTES DA SILVA, B.F.P. Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no Estado de Alagoas. 2011. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 26(3): 295-310.

PORTAL UOL. **Chuva faz prefeitura decretar estado de alerta máximo em Recife**. 2010. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/752875-chuva-faz-prefeitura-decretar-estado-de-alertamaximo-em-recife.shtml>. Acesso em: 07 set. 2020.

RECIFE, Secretaria de Meio Ambiente do. **Plano Local de ação climática do Recife**. Recife, 2020. Disponível em: [http://meioambiente.recife.pe.gov.br/sites/default/files/midia/arquivos/pagina-basica/placrecife\\_acaoclimat.pdf](http://meioambiente.recife.pe.gov.br/sites/default/files/midia/arquivos/pagina-basica/placrecife_acaoclimat.pdf).

REBOITA, M. S. et al. Causas da semi-aridez do sertão nordestino. **Revista Brasileira de Climatologia** [online] 19. 2016. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/42091>.

REIS, J. S. Características dinâmicas e termodinâmicas dos vórtices ciclônicos de altos níveis no Nordeste do Brasil. **Dissertação de mestrado** (UFRN). Rio Grande do Norte. 2018. 76 f.

RIBEIRO, S. K.; SANTOS, A. S. (Ed.). **Mudanças climáticas e cidades**: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro: PBMC/Coppe-UFRJ, 2016.

RIEHL, H. **Waves in the easterlies and the polar front in the Tropics**. Chicago Univ., Dept. of Meteorology, 1945.

Rosman, PCC, Neves, CF, Muehe, DE, Valentini, M. **Estudo de Vulnerabilidades no Litoral do Estado do Rio de Janeiro devido às Mudanças Climáticas**. Relatório PENO-9501. Fundação Coppetec. Rio de Janeiro, dez. 2007.

SANTANA, J. K. R. ANÁLISE EVOLUTIVA DA OCUPAÇÃO DOS MORROS DA CIDADE DO RECIFE. **Simpósio Nacional de Geografia Urbana**, Espírito Santo, v. -, n. -, p. 3754-3768, 17 nov. 2019. Anais.

SANTOS, C. G. De cima para baixo e de baixo para cima: intervenção estatal e investimentos habitacionais em assentamentos de baixa renda do Recife. **Dissertação** (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAC. Arquitetura, 2011. 232 p.

SANTOS, P. F. C. et al. Conforto térmico e diferentes tipos de tempo meteorológico na cidade do Recife (PE). **ENTRE-LUGAR**, Dourados, v. 8, n. 16, p. 12-31, 2017. Disponível em: <http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/entre-lugar/article/view/6269>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.30612/el.v8i16.6269>

SANTOS, P. F. C. **Microclimas urbanos na cidade do Recife-PE**: proposta de zoneamento sob o enfoque do conforto térmico. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. 149p.

SANTOS, T. O. **Identificação de ilhas de calor em Recife-PE por meio de sensoriamento remoto e dados meteorológicos de superfície**. 2011. Dissertação (Mestrado em Eng. Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011. 90p.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço**: Técnica e Tempo, Razão e Emoção. 4 ed. 2. reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.

SECTMA - Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco (1997). **Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição Hídrica das Bacias dos Rios Beberibe, Capibaribe e Jaboatão** - PQA / PE, dez. 1997.

SEN, M. L. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. 1968. **Journal of the American Statistical Association**, 63(324), 1379-1389.

SILVA, C. C. G.; MELLO, S. C. B. Recife, Veneza Brasileira: repensando a mobilidade urbana a partir de seus rios. **Cidades: Comunidades e territórios**, Lisboa, v. 34, p. 1-26, 30 jul. 2017. Disponível em: <https://journals.openedition.org/cidades/455>. Acesso em: 17 ago. 2022.

SILVA, C. S. *et al.* Deslizamentos e enchentes na bacia do Rio Tejiú: percepção e resiliência frente a riscos geomorfológicos. **Revista Okara: Geografia em debate**, João Pessoa, v. 11, n. 2, p. 316-337. 2007.

SILVA, et al. Áreas vulneráveis ao aumento do nível do mar em cidades costeiras: um estudo na cidade do Recife, Brasil. **Journal of Hyperspectral RemoteSensing**, v. 1, n. 1, p. 20-27, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/jhrs/article/view/252409/40387>. Acesso em: 22 ago. 2024.

SILVA, G. F. Identificação da vulnerabilidade socioambiental e percepção de risco no bairro de Nova Descoberta, Recife-PE. 2023. **Trabalho de conclusão de curso** (Geografia Bacharelado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

SILVA, G. I. N. *et al.* Entendendo as Características Associadas à Precipitação para uma Região do Nordeste do Pará: : uma análise do comportamento, tendência, eventos extremos e tempo de retorno para o período de 1973-2010. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 24, n. 06, p. 3177-3192, ago. 2021.

SILVA, J. S., Mariana, Z. F., Scopel, I., 2007. A influência do clima urbano na proliferação do mosquito *Aedes aegypti* em Jataí (GO) na perspectiva da geografia médica. **HYGEIA, Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde** 2, 33–49.

SILVESTRE, E., 1996: **Distúrbios nos Ventos de Leste no Atlântico Tropical**, São José dos Campos, INPE 1996.

SIMPSON, J. E., MANSFIELD, D. A., MILFORD, J. R. Inland penetration of sea-breezes and fronts. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. Janeiro de 1977. 103 (435) :47-76. DOI: 10.1256/smsqj.43503.

SOARES, G. A. S.; GALVÍNCIO, J. D. Uso do LiDAR para avaliar os padrões hídricos de bacias em áreas urbanas: caracterização fisiográfica da bacia do rio beberibe- pe. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 13, n. 7, p. 3659-3674, 30 dez. 2020.

SOARES, F. S.; FRANCISCO, C. N.; SENNA, M. C. A. Distribuição Espaço-Temporal da Precipitação na Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande – RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2014. 29, 125 – 138.

SOARES NETO, J. P.; BEZERRA, A. R. G.; MOSCON, E. S. Probabilidade e análise decadal da precipitação pluvial da cidade de Barreiras-Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 06, n. 03, p. 470-477, set. 2013.

SOEK, Felipe José *et al.* Mudanças Climáticas e Infestação por *Aedes Aegypti* na Região Sul do Brasil. **Geo Uerj**, [S.L.], v. -, n. 42, p. 1-16, 19 jun. 2023. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/geouerj.2023.74550>.

SOUSA NETO, G. M. Impactos do aumento do nível médio do mar em algumas capitais do Nordeste brasileiro, e suas consequências ambientais. **Dissertação** (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. 2009. 60 f.

SOUZA, J. L.; CORRÊA, A. C. B.; SILVA, O. G. COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA PLANÍCIE DO RECIFE, PERNAMBUCO, BRASIL. **Revista de Geografia**, Recife, v. 4, n. 1, p. 147-168, mar. 2017.

SOUZA, W. L. S. Produção de sedimentos da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe para a zona costeira da Região Metropolitana do Recife. **Dissertação** (mestrado em ciência do solo) – UFRPE. Recife, 2011. 136 f.

SOUZA, W. M. Impactos socioeconômicos e ambientais dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE. **Tese** (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2011. 121 f.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V. de; ARAÚJO, L. E. Classificação da precipitação diária e impactos decorrentes dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 5, n. 2, p. 250-258, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232788>. Acesso em: 10 jan. 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i2.232788>.

TAVARES, A. C. Variabilidade e mudanças climáticas. 228 f. **Tese** (Livre Docência em Climatologia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria técnica, SUPREN, 1977. 91 p.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução à Climatologia**. Ubá: Ed. Geographica, 2008. 234 p.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento das Drenagens Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 7. n.1. 2002.

TV JORNAL. **Chuva: veja onde tem ponto de alagamento no Grande Recife na manhã desta quinta (13)**. Bronca 24 Horas, 13 de maio de 2021. Disponível em: <<https://tvjornal.ne10.uol.com.br/bronca-24-horas/2021/05/13/chuva-veja-onde-tem-ponto-de-alagamento-no-grande-recife-na-manha-desta-quinta-13-209243>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

TV JORNAL. **Em 12 horas, Recife registra 30% da chuva esperada para todo o mês de maio**. TV Jornal, 13 de maio de 2021. Disponível em: <<https://tvjornal.ne10.uol.com.br/noticias/2021/05/13/em-12-horas-recife-registra-30porcento-da-chuva-esperada-para-todo-o-mes-de-maio-209262/index.html>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

TV JORNAL. **Notícia do Mês: abril é marcado por transtornos provocados pelas fortes chuvas no Grande Recife**. TV Jornal Meio-Dia, 30 de abril de 2021. Disponível em: <<https://tvjornal.ne10.uol.com.br/tv-jornal-meio-dia/2021/04/30/noticia-do-mes-abril-e-marcado-por-transtornos-provocados-pelas-fortes-chuvas-no-grande-recife-208477/index.html>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

UOL NOTÍCIAS. **Chuvas causam mortes, inundações e destruição em Jaboatão dos Guararapes e Natal**. 19 ago. 2013. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2013/08/19/chuvas-causam-mortes-inundacoes-e-destruicao-em-jaboatao-dos-guararapes-e-natal.htm>. Acesso em: 22 nov. 2023.

VILLELA, S. M.; MATOS, A. **Hidrologia aplicada**. Ed. Mc Grall-Will do Brasil Ltda. 1977, 245 p.

WANDERLEY, L. S. A. Proposta de classificação climática da Região Nordeste do Brasil baseada na abordagem sinótica dos tipos de tempo. **Tese** – 2020. 216 p.

WANDERLEY, L. S. A. et al. Tipos de tempo associados a eventos diários de chuvas intensas na cidade de Recife – PE, Brasil. **Sociedade e Natureza**, v. 22, p. 1-14, jul. 2021. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/60520>.

WANDERLEY, L. S. de A. *et al.* As chuvas na cidade do Recife: Uma climatologia de extremos. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 22, n. 14, p. 149-164, jun. 2018.

WRI BRASIL. **Os eventos extremos de 2021 farão os países ricos financiarem a ação climática no resto do mundo?** 2021. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/os-eventos-extremos-de-2021-farao-os-paises-ricos-financiarem-acao-climatica-no-resto-do>. Acesso em: 13 out. 2021.

WWF BRASIL. **Conheça mais sobre a história das mudanças climáticas.** Brasília. 2015. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?44502/Conhea-mais-sobre-a-historia-das-mudanas-climticas>. Acesso em: 25 abr. 2023.

YOUNG, A. C., ESPINOZA, J. C., & MARENGO, J. A. Trenas in extreme daily rainfall events and related variables in the Amazon Basin: 1970–2015. **International Journal of Climatology**, 37(S1), 1447-1458, 2017.

XAVIER, T. B. S., XAVIER, A. F. S., SILVA DIAS, M. A. F. Evolução da precipitação diária num ambiente urbano: o caso da cidade de São Paulo, **Rev. Bras. Meteorologia**, vol 2, p. 347-349, 1994.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F.S. Papel da componente meridional do vento na costa do Nordeste para previsão de chuva no Estado do Ceará. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 1997, Vitória-ES. Anais...Vitória, 2004. p.537-543.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F.S. **Probabilidade**: teoria e problemas, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 261 p. 1974.

XAVIER, Teresinha de M<sup>o</sup> Bezerra S.; XAVIER, Airton Fontenele Sampaio; ALVES, José Maria Brabo. **Quantis e eventos extremos**: aplicações em ciências da terra e ambientais. Fortaleza: Rds, 2007. 278 p.

ZANELLA, M. E. Inundações Urbanas em Curitiba/PR: Impactos, riscos e vulnerabilidade socioambiental no bairro Cajuru. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal do Paraná. Programa de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Curitiba, 2006

ZWIERS, F. W., ZHANG, X.; FENG, Y. Anthropogenic influence on long return period daily temperature extremes at regional scales. **Journal of Climate**, 24(3), 881-892, 2011.

ZHANG, X.; ALEXANDER, L.; HEGERL, G. C.; JONES, P.; TANK, A. K.; PETERSON, T. C.; TREWIN, B.; ZWIERS, F. W. Índices para monitorar mudanças em extremos com base em dados diários de temperatura e precipitação Wiley Interdiscip. **Rev. Clim. Chang.** 2 851–70. 2011.

YAMAZAKI, Y. Estudos teóricos e sinóticos dos distúrbios tropicais. Fev. 1975. 56 p. (INPE – 624 – LAFE). **Dissertação** (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1975.